

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelo de Suscetibilidade e Propagação da Contaminação de Solos**

**Bruno Filipe Munhoz Bento Camilo**

Dissertação orientada pelo  
Prof. Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial  
Aplicados ao Ordenamento

2020



Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



## **Modelo de Suscetibilidade e Propagação da Contaminação de Solos**

**Bruno Filipe Munhoz Bento Camilo**

Dissertação orientada pelo  
Prof. Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis

Júri:

Presidente:

- Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professora Doutora Maria José Leitão Barroso Roxo da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa

- Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2020



## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho. Existem, porém, elementos a quem, inevitavelmente, devo agradecimentos especiais, sem os quais esta dissertação não seria possível:

Ao orientador desta dissertação, professor Eusébio Reis, pelas horas de reuniões, pela disponibilidade e pelo interesse demonstrado ao longo da dissertação, sem o qual teria sido quase impossível o desenvolvimento e finalização desta dissertação, o meu obrigado.

Ao professor Jorge Rocha, pela disponibilidade para ajudar, sem qualquer tipo de compromisso, na construção do processo de automatização do modelo que me poupou dezenas, ou até mesmo centenas, de horas de trabalho repetitivo nas calibrações do modelo e a todos os professores do Mestrado de SIGMTAO pela incansável vontade de ajudar quem os procura.

Aos meus amigos, cujos nomes não serão mencionados para que ninguém seja excluído e que certamente saberão quem são, pelo suporte, força, coragem, vontade, horas intermináveis de brincadeiras e por me aturarem dia após dia, obrigado. Que as coisas nunca mudem!

À Raquel, que infelizmente já não está presente para assistir à finalização desta etapa importante da minha vida, por ter sido um dos meus pilares ao lado da família, por ser a pessoa que me agarrou e ajudou quando inevitavelmente necessitei, que tanta falta me continua a fazer e a quem gostaria de dedicar esta dissertação, o meu mais sentido e sincero obrigado.

Por fim, mas definitivamente não menos importante, um agradecimento muito especial aos meus pais e irmã, por tudo.



## Resumo

Ao longo dos últimos anos, o estudo da degradação dos solos em Portugal não tem observado avanços significativos, particularmente na temática da contaminação, tanto no regime de prevenção como no de correção, apesar de existir uma preocupação crescente com o estado atual dos solos por parte da União Europeia e de se observar uma crescente degradação geral dos solos no mundo, especialmente após a revolução industrial. De forma geral, o quadro legislativo português apresenta lacunas graves relativas à proteção de solos, ainda que exista uma proposta de decreto-lei, datado de 2015, que visa preencher partes dessas lacunas. Infelizmente, o estado de proteção geral dos solos, à data desta dissertação, mantém-se inalterado, constituindo problemas e entraves graves à desaceleração da degradação dos solos em Portugal e no desenvolvimento de modelos espaciais e cartografia de risco, ou de qualquer parte integrante do mesmo, como é o caso da suscetibilidade.

Neste trabalho é construído um modelo de suscetibilidade e propagação de contaminação de solos à escala 1:25 000 e são identificadas as vantagens, as desvantagens e os problemas associados ao modelo, enquanto vão sendo apresentadas opções e/ou soluções para os problemas encontrados, processos de construção em forma de fluxogramas e os próprios resultados. De forma a facilitar a construção do modelo é utilizado ainda um *script* em Python, utilizando o módulo Arcpy do sistema de informação geográfica (SIG) da ESRI. A semi-automatização não só facilita quaisquer alterações que sejam necessárias fazer como otimiza o processo de construção.

Por ser um trabalho em um estágio inicial de desenvolvimento que procura estabelecer algumas bases e por estar inserido numa temática muito complexa, cuja simplificação é extremamente complicada, existem várias ramificações que não foram perseguidas. Das mais variadas ramificações (mencionadas ao longo da dissertação), destacam-se três principais - a introdução de outras variáveis importantes, a criação de cenários e a diferenciação entre o modelo de suscetibilidade e de propagação. Por fim, mas não menos importante, a não existência de dados espaciais relativos à variável dependente (grau de contaminação do solo) impossibilitou a validação do modelo e limitou a exploração de outros métodos.

Palavras-chave: Modelo de suscetibilidade; modelo de propagação; cartografia de suscetibilidade; contaminação de solos.





## Abstract

Over the last years, the study of soil degradation in Portugal hasn't seen significant advances, particularly in the thematic of soil contamination, both in the prevention or corrective perspectives, besides the existing growing concern from the European Union with the actual state of soils and a growing soil degradation of the world, especially after the Industrial Revolution. In general, the Portuguese legislative framework presents severe gaps in terms of soil protection, even when there's a decree-law proposal, dated from 2015, which aims to fulfil parts of those gaps. Unfortunately, the scenario of general soil protection is, at the date of this dissertation, still unchanged, constituting severe problems and hindrances to the deacceleration of soil degradation in Portugal and in the development of spatial models and risk cartography, or any integrant part of it, as is the case of suceptibility.

In this work it's built a susceptibility and propagation of soil contamination model at a 1:25 000 scale and the advantages, disadvantages and associated problems are identified, while being presented options and/or solutions for said problems, flow charts of the construction processes and the results. In order to facilitate the construction of said model, it's used a Python *script*, utilizing the GIS Arcpy module from ESRI. The semi-automation not only facilitates any changes required, but also optimizes the construction processes themselves.

Since it's a work in the early stages of development which seeks to establish some groundwork and for being a part of a very complex thematic, which simplification is extremely complicated, there's several ramifications that weren't pursued. Amongst those ramifications (which are mentioned throughout the report), there are three main ones, namely the introduction of other important variables, the creation of scenarios and the differentiation between the suceptibility model and the propagation of soil contamination. Lastly, but not least, the non-existence of spatial data related to the dependent variable made the model validation impossible and limited the exploration of other methods.

Keywords: Susceptibility model; propagation model; susceptibility cartography; soil contamination



## Índice Geral

Resumo.....	iii
Abstract .....	v
Índice Geral .....	vii
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas.....	x
Siglas e Acrónimos.....	xi
Introdução.....	1
Capítulo 1 – Solos, Degradação e Contaminação.....	3
1.1 – Introdução aos solos .....	4
1.2 – Estrutura e características do solo .....	4
1.3 – A problemática da degradação .....	6
1.4 – O caso específico da contaminação .....	7
Capítulo 2 – Enquadramento Geral.....	13
2.1 – Enquadramento geográfico da área de estudo.....	14
2.2 – Introdução ao quadro legislativo português .....	15
2.2.1 – Proposta de Decreto-Lei ProSolos.....	16
2.2.2 – Decreto-Lei 150/2015 – Seveso III.....	17
2.2.3 – Decreto-Lei 38/2013 – Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) .....	19
2.2.4 – Decreto-Lei 127/2008 – <i>Pollutant Release and Transfer Register</i> (PRTR).....	19
Capítulo 3 – Metodologia.....	21
3.1 – Modelos espaciais em ambiente SIG.....	22
3.2 – Métodos utilizados.....	24
3.3 – Escolha de variáveis espaciais .....	28
3.4 – Dados e tratamento da informação inicial.....	31
3.5 – Modelo espacial de atrito e a suscetibilidade .....	33
3.5.1 – Declives.....	33
3.5.2 – Número de escoamento.....	38
3.5.3 – Hidrografia e território artificializado .....	43
3.5.4 – Atrito e Suscetibilidade .....	46
3.6 – Modelação da propagação e identificação de fontes e restrições .....	50
3.6.1 – Fontes representadas por pontos e aplicação das restrições .....	51
3.6.1.1 – Seveso.....	53
3.6.1.2 – CELE .....	54
3.6.1.3 – PRTR.....	55

3.6.2 – Fontes representadas por linhas e aplicação das restrições.....	59
3.6.2.1 – Rede Viária .....	60
3.6.3 – Fontes representadas por polígonos e aplicação das restrições .....	64
3.6.3.1 – Uso e ocupação do solo.....	64
3.6.3.2 – Seveso.....	66
3.7 – Problemática da validação do modelo de suscetibilidade .....	71
Capítulo 4 – Resultados.....	73
4.1 – Análise e discussão.....	74
4.2 – Vantagens, desvantagens, problemas e possíveis soluções .....	78
Considerações finais.....	81
Bibliografia .....	83
Anexos.....	87
Anexo I – Tipos hidrológicos do solo e do número de escoamento (AMC II) .....	89
Anexo II – <i>Script</i> (Anexo Digital) .....	105

## Índice de Figuras

Figura 1 – Diagrama triangular da textura do solo .....	6
Figura 2 – Enquadramento geográfico da área de estudo.....	14
Figura 3 – Altitude (m) da região Norte de Lisboa e Vale do Tejo .....	15
Figura 4 – Fluxograma do processo geral de modelação espacial .....	23
Figura 5 – Fluxograma do processo de criação do modelo espacial.....	24
Figura 6 – TIN da área de estudo .....	34
Figura 7 – MDE da área de estudo .....	34
Figura 8 – Declives (em graus) .....	35
Figura 9 – Infiltração de água em diferentes declives .....	36
Figura 10 – Equação da reta dos declives .....	37
Figura 11 – Declives ponderados (atrito) .....	38
Figura 12 – Uso e Ocupação do Solo (megaclasses) .....	39
Figura 13 – Tipo hidrológico do solo .....	40
Figura 14 – Número de escoamento inverso .....	43
Figura 15 – Rede hidrográfica .....	45
Figura 16 – Atrito final.....	47
Figura 17 – Suscetibilidade (sem território artificializado) .....	48
Figura 18 – Suscetibilidade (com território artificializado) .....	48
Figura 19 – Fluxograma do modelo de suscetibilidade (modelo concetual) .....	49
Figura 20 – Localização dos estabelecimentos potencialmente contaminantes representados por pontos.....	52
Figura 21 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos Seveso representados por pontos.....	54
Figura 22 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos CELE representados por pontos .....	55
Figura 23 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos PRTR representados por pontos .....	56
Figura 24 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Pontos (modelo concetual parte 1).....	57
Figura 25 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Pontos (modelo concetual parte 2).....	58
Figura 26 – Troços da rede viária utilizados na modelação .....	61
Figura 27 – Propagação da contaminação de solos - Rede viária representada por linhas.....	62

Figura 28 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Linhas (modelo concetual) .....	63
Figura 29 – Localização das fontes potencialmente contaminantes - Polígonos COS 2015 .....	65
Figura 30 – Propagação da contaminação de solos - Fontes da COS 2015 representadas por polígonos agregados .....	66
Figura 31 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos Seveso representados por polígonos individuais .....	67
Figura 32 – Implementação da restrição de altitude utilizando análises de vizinhança.....	68
Figura 33 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Polígonos agregados e individuais (modelo concetual) .....	69
Figura 34 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Polígonos agregados e individuais (modelo concetual) .....	70

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tipos e características dos horizontes do solo. ....	5
Tabela 2 - Informação necessária para o modelo de suscetibilidade e modelação da propagação.....	32
Tabela 3 – Propriedades gerais da areia, silte e argila .....	41
Tabela 4 – Classes de suscetibilidade.....	47
Tabela 5 – Frequência relativa (%) do território em cada classe de suscetibilidade. ....	75

## Siglas e Acrónimos

AMC<sup>1</sup> – Análise Multicritério

AMC<sup>2</sup> – *Antecedent Moisture Content* (Teor de Humidade Antecedente)

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ARH – Administração da Região Hidrográfica

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CE – Comissão Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão

CIGeoE – Centro de Informação Geoespacial do Exército

CLP – Combinação Linear Ponderada

CLMS – *Copernicus Land Monitoring Service*

COS – Carta de Ocupação do Solo

DGADR – Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

DGT – Direção Geral do Território

EEA – *European Environment Agency* (Agência Europeia do Ambiente)

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

EUREF – *European Reference Frame*

GEE – Gases de Efeito Estufa

LiDAR – *Light Detection and Ranging*

MDE – Modelo Digital de Elevação

OSM – *OpenStreetMap*

QREN – Quadro de Referência Estratégica Nacional

PAH – Processo Analítico Hierárquico

PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território

PPP – *Polluter Pay-Principle* (Princípio do Poluidor-Pagador)

PRTR – *Pollutant Release and Transfer Register* (Registo de Emissões e Transferência de Poluentes)

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNIAmb – Sistema Nacional de Informação de Ambiente

TIN – *Triangulated Irregular Network* (Rede de Triângulos Irregulares ou Rede Triangular Irregular)

SCS – *Soil Conservation Service*



## Introdução

O estudo da contaminação dos solos é um tema pouco estudado e pouco desenvolvido em Portugal apesar de se conhecerem as consequências do uso inadequado dos solos para as atividades humanas, reservas de águas, produção de alimentos, entre outros. Pondo em perspetiva a importância que os solos têm para a biosfera enquanto recurso não-renovável e a imprudência com que é muitas vezes utilizado, é fácil perceber que num futuro próximo com o atual crescimento da população global e com a crescente exigência por alimentos e por água potável, o estudo da suscetibilidade de contaminação dos solos – e por consequência, o risco – venha a ter cada vez mais importância para se conseguir fazer um planeamento e uso do território mais consciente ao mesmo tempo que se preserva o solo e se salvaguarda a população.

Em Portugal ainda não existe qualquer tipo de legislação relativa à contaminação dos solos apesar de existir uma proposta de lei datada de 2015 que, até ao momento, não foi aprovada e que tem o intuito principal de vir a preencher as principais lacunas do quadro legislativo português relativas à degradação e proteção do solo nos regimes de prevenção e de remediação. Existem, porém, locais contaminados identificados e classificados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) como passivos ambientais desde o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN) e cujos solos estão habilitados à intervenção e recuperação urgente e valores máximos de contaminantes específicos no solo (metais pesados, pesticidas, entre outros). Atualmente a APA já dispõe de inventários nacionais de atividades potencialmente contaminantes e de locais/áreas contaminadas que se encontram de momento a ser construídos, mas que não estão ainda disponíveis para consulta pública. Relativamente aos modelos de suscetibilidade de contaminação dos solos também não se tem assistido a progressos nos últimos anos.

Em 2012 e 2013, Portugal foi um dos cinco Países da Europa que, de um total de 38 entrevistados, não entregaram qualquer tipo de dados relativos às áreas contaminadas no território nacional (Panagos et al., 2013). Em 2018, Portugal já se encontra na lista de 39 Países europeus entrevistados que entregaram, ainda que pela primeira vez, dados relativos às áreas contaminadas, mais concretamente o número de locais (83) cujos solos foram remediados (Pérez e Eugenio, 2018). É assim observável um despertar de interesse por parte do País para a problemática da contaminação dos solos.

No presente trabalho foi construído um modelo de suscetibilidade e propagação da contaminação de solos em SIG recorrendo a um modelo de atrito à escala 1:25 000 (resolução 10 m). Foi utilizado um *script* em Python (com recurso ao módulo Arcpy da ESRI) de forma a

facilitar e a semi-automatizar os processos de construção e de alterações que fossem sendo necessárias aplicar ao mesmo.

O presente trabalho apresenta dois objetivos principais, nomeadamente a construção do modelo à escala 1:25 000 cuja aplicação seja comum ao País (o mais possível) e que permita a modelação da propagação (responsável pela limitação de introdução de variáveis); e identificar as limitações gerais (e, se possível, específicas) dos dados e do próprio modelo, não só para documentação como para se encontrar possíveis soluções. Para esse efeito, a dissertação está dividida em 4 capítulos principais, constituídos por vários subcapítulos:

- **Capítulo 1 – Solos, Degradação e Contaminação:** Introdução aos solos e às suas características gerais, à problemática da degradação dos solos, ao tema específico da contaminação e identificação dos contaminantes mais comuns;
- **Capítulo 2 – Enquadramento Geral:** Localização da área de estudo; a introdução e descrição do estado atual do quadro legislativo português relativamente à temática de proteção de solos; princípios e finalidades gerais da proposta de decreto-lei ProSolos; e identificação de estabelecimentos potencialmente contaminantes através de três decretos-leis (Seveso III, CELE e PRTR);
- **Capítulo 3 – Metodologia:** Introdução não só a alguns modelos espaciais em SIG como também às metodologias de construção dos mesmos; identificação dos métodos e variáveis a utilizar e do tratamento inicial da informação (validações e correções topológicas e geométricas, correções de registos repetidos, projeção dos dados para o sistema de coordenadas recomendado pela *European Reference Frame* – EUREF -, entre outros); identificação de possíveis variáveis a incluir (caso não seja efetuada a modelação da propagação), os respetivos problemas associados e a possibilidade de criação de cenários; construção do modelo de suscetibilidade e do tratamento das variáveis; modelação da propagação (de fontes identificadas por pontos, linhas e/ou polígonos) e as respetivas restrições; e a problemática da validação do modelo de suscetibilidade (inexistência de uma variável dependente em termos de dados).
- **Capítulo 4 – Resultados:** Análise e discussão de resultados; identificação das vantagens, desvantagens, problemas e de algumas possíveis soluções aos mesmos.

## Capítulo 1 – Solos, Degradação e Contaminação

## 1.1 – Introdução aos solos

O solo é um recurso não-renovável essencial à vida humana. É um sistema dinâmico que compõe a camada superior da crosta terrestre e compreende a matéria orgânica, água, ar e organismos vivos, albergando parte da biosfera, responsáveis por numerosas funções vitais às atividades humanas e à sustentabilidade dos ecossistemas. O solo é ainda uma componente de herança cultural e indispensável para a paisagem. Entre as funções vitais do solo destacam-se a capacidade de armazenar, filtrar e transformar substâncias – passivas ou nocivas – durante longos períodos, o fornecimento de matéria prima e a proteção dos locais de abastecimento de água dos habitats (Boulding e Ginn, 2004; Jones et al., 2005; Comissão Europeia, 2006; Pérez e Eugenio, 2018). Não existe uma definição concreta de solo, visto que cada ramo da geociência tende a encará-lo numa perspectiva diferente.

Apesar de se conhecer a importância do solo, o planeamento e o uso continuam a ser muito desprezados em termos de preservação do mesmo e a importância económica inerente a um recurso essencial – cuja quantificação é complicada – também é praticamente inexistente (Gorlach et al., 2004; Jones et al., 2005; Comissão Europeia, 2012).

O processo de formação do solo é conhecido por pedogénese e, de acordo com Jenny (1994), depende principalmente de cinco fatores principais: material de origem, topografia, matéria orgânica, clima e tempo.

O solo é considerado um recurso não renovável à escala humana devido ao seu período de formação, sendo que um solo de 30 cm apresenta uma taxa de formação e/ou regeneração de 1 000 a 10 000 anos (Haberli, 1991 – *in* Moreira, 2017).

## 1.2 – Estrutura e características do solo

Apesar de não existir uma definição concreta de solo na geociência, neste trabalho considera-se solo a camada superior da crosta terrestre não consolidado, composto por matéria orgânica e dividido em diferentes horizontes, alterado por agentes físicos, químicos e/ou biológicos (Schaetzl & Anderson, 2005).

Ainda segundo Schaetzl e Anderson (2005), a classificação dos horizontes do solo foi introduzida por Dokuchaev e Sibirtsey, em 1893, na *“World’s Columbian Exposition”*. Os diferentes horizontes são classificados como O, A, E, B, C e R, admitindo-se, ainda que informalmente, o horizonte D. Pode ainda existir uma classificação adicional às classes principais

dos horizontes de forma a existir uma maior especificidade da constituição do solo e a transição entre horizontes pode ser de forma gradual ou abrupta.

*Tabela 1 – Tipos e características dos horizontes do solo.*

<b>Horizonte</b>	<b>Características</b>
<b>O</b>	Camada dominada por material orgânico em vários estágios de decomposição.
<b>A</b>	Horizonte mineral formado à superfície ou debaixo de um horizonte O e (1) é caracterizado por uma acumulação de matéria orgânica humidificada misturada com a porção mineral ou (2) tem propriedades resultantes de cultivo, pastoreio ou de tipos de perturbações semelhantes.
<b>E</b>	Horizonte composto por minerais de cores claras onde a característica principal é a perda de minerais erodidos pelos elementos, silicato, argila, ferro, alumínio, húmus ou outra combinação, deixando uma concentração de grãos de quartzo sem revestimento ou outros materiais resistentes.
<b>B</b>	Horizonte de minerais subterrâneos dominantes por (1) acumulações iluviais de argila, ferro, alumínio, húmus, etc., (2) remoção primária de carbonatos, (3) concentrações residuais de sesquióxidos (por exemplo, óxido de alumínio), (4) estrutura não-geológica distinta ou (5) frágil.
<b>C</b>	Horizonte mineral, excluindo a rocha mãe, que foi pouco afetado pelos processos da pedogénese e não apresentam propriedades dos horizontes O, A, E ou B. A maioria dos horizontes C são camadas de solo mineral e retêm alguma estrutura rochosa ou sedimentar. Incluídos no horizonte C estão os saprólitos moles fortemente erodidos.
<b>D</b>	Horizonte profundo que não demonstra virtualmente qualquer evidência de alteração pedogénica, tais como a lixiviação de carbonatos ou oxidação. Retêm a sua estrutura geológica e são frequentemente densos e pouco permeáveis. Tal como o horizonte C, o D é formado em sedimentos não consolidados.
<b>R</b>	Horizonte composto pela rocha mãe contínua e consolidada o suficiente para que a escavação à mão se torne impraticável.

*Traduzido de Schaetzel e Anderson (2005), pág 37.*

O solo apresenta ainda muitas outras características, sendo a textura a principal responsável pela diferenciação entre tipos de solos, definida pelo tamanho dos grãos, ou partículas e pelas quantidades relativas de argila, silte e areia (Schaetzel e Anderson, 2005; Lencastre e Franco, 2010). As diferentes classificações do solo de acordo com a textura são apresentadas nos diagramas triangulares da textura dos solos (fig. 1). No capítulo 3.5.2 são evidenciadas outras características do solo relevantes à modelação.

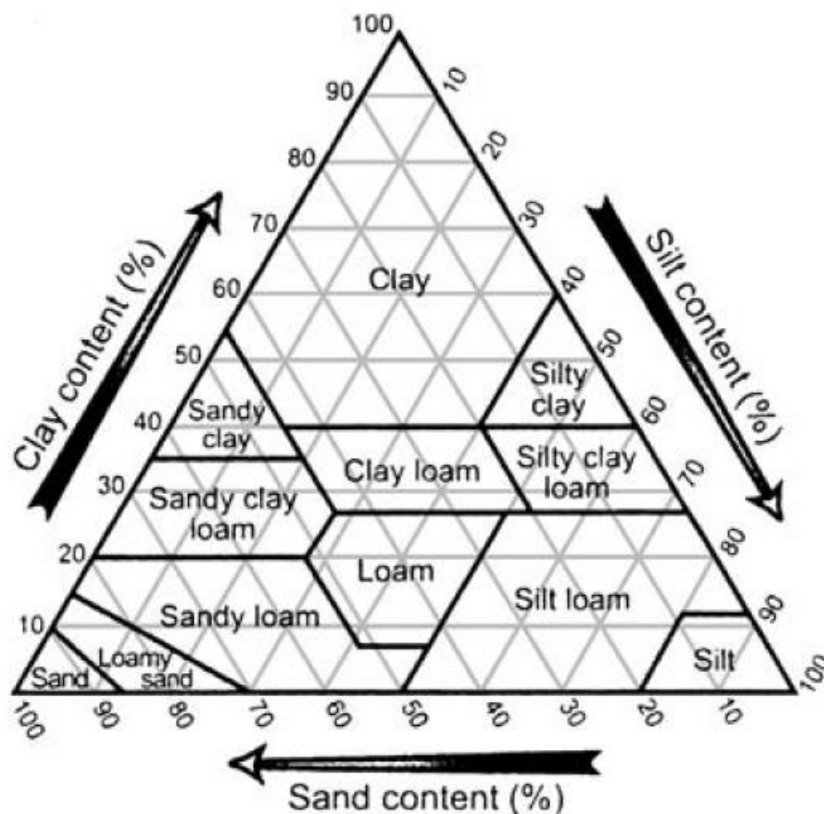


Figura 1 – Diagrama triangular da textura do solo  
Retirado de Schaetzl e Anderson (2005), pág. 12.

### 1.3 – A problemática da degradação

Entende-se por degradação do solo o enfraquecimento ou paragem total das funções do solo por consequência de atividade humana através de mudanças físicas, químicas e/ou biológicas (Gorlach et al., 2004; Aqeel et al., 2014). A degradação contribui para as alterações climáticas, tendo sido responsável por 20 % das emissões de carbono emitidas para a atmosfera entre 1850 e 1998 (Comissão Europeia, 2012), problema que se tem vindo a agravar com a crise climática, visto que o solo armazena uma parte significativa dos gases de efeito estufa (GEE) e pela crescente degradação observada ao longo dos últimos anos. Posto isto, a Comissão Europeia identificou, em 2002, oito grandes ameaças ao solo anexadas à problemática da degradação geral dos solos (Gorlach et al., 2004; Comissão Europeia, 2012):

- Erosão;
- Declínio da matéria orgânica;
- Contaminação;
- Impermeabilização;

- Compactação;
- Declínio da biodiversidade;
- Salinização;
- Cheias e deslizamentos de terra.

Para se compreender a problemática da degradação, é necessário identificar-se primeiro os três principais tipos de risco. Para Julião et al. (2009), estes são descritos como:

- Riscos Naturais – resultantes do funcionamento dos sistemas naturais;
- Riscos Tecnológicos – resultantes de acidentes súbitos e não planeados decorrentes da atividade humana;
- Riscos Mistos – resultantes da combinação de ações humanas continuadas com o funcionamento dos sistemas naturais.

Sendo o solo um sistema dinâmico e recetor primário da poluição ambiental, este é geralmente afetado de várias formas, através de várias fontes de contaminação e de forma súbita. Visto que a ação humana não é a única causa da degradação dos solos (alterações climáticas, poeiras que alteram física ou quimicamente a constituição da camada superior – horizontes superiores – do solo através da deposição de outros minerais, entre outros), esta temática insere-se nos riscos mistos.

Das oito grandes ameaças ao solo identificadas pela Comissão Europeia, destaca-se neste trabalho a temática da contaminação, particularmente através de escoamento superficial, no qual se vai incidir o modelo de suscetibilidade e a modelação da propagação da contaminação. Posto isto, e tendo em conta o foco principal deste trabalho (contaminação de solos através de acidentes ou descargas intencionais de substâncias perigosas para o ambiente), este insere-se maioritariamente na categoria do risco tecnológico e não no risco misto.

#### 1.4 – O caso específico da contaminação

A quantificação da contaminação do solo a nível local é difícil e demorada, especialmente quando a maioria dos estados-membros não dispõe de inventários completos, apesar desta temática estar incluída na proposta de diretiva-quadro sobre o solo (Comissão Europeia, 2012).

O estudo da contaminação do solo é um tema pouco desenvolvido em Portugal, sendo efetuados estudos apenas a nível local aquando da requalificação dessas zonas, sendo um dos

casos mais conhecidos e mais recentes, a freguesia do Parque das Nações, no município de Lisboa.

Existem ainda locais contaminados identificados e classificados pela APA como passivos ambientais desde o QREN cujos solos estão habilitados à intervenção e recuperação urgente por representarem perigo tanto para o ambiente como para a saúde humana. Para além disso, existem também valores máximos de substâncias permitidas no solo presentes no guia técnico de solos contaminados (APA, 2019). Atualmente a APA já dispõe de um inventário nacional de atividades potencialmente contaminantes que se encontra de momento a ser construído, mas que não está disponível ainda para consulta pública. Relativamente aos modelos de suscetibilidade de contaminação dos solos também não existe qualquer tipo de progresso nos últimos 5 a 10 anos.

A contaminação do solo pode ser feita de várias formas e através de várias fontes, não só através de atividades humanas como através de fenómenos naturais. Para efeitos do presente trabalho, as atividades humanas responsáveis por grande parte da contaminação de solos inserem-se nos grupos seguintes (Jones et al., 2005; Schaetzel & Anderson, 2005; Comissão Europeia, 2012; Aqeel et al., 2014; Pérez & Eugenio, 2018):

- Indústria;
- Aterros;
- Descargas acidentais ou intencionais de lixo industrial de forma indevida;
- Percolação de água contaminada (filtração pelo solo até às reservas de água em profundidade);
- Rutura de tanques de armazenamento de substâncias, tanto em profundidade como à superfície;
- Agricultura – Utilização de herbicidas, pesticidas e fertilizantes, muitas vezes em excesso;
- Resíduos sólidos urbanos (RSU) mal tratados;
- Deposição atmosférica (resultante da poluição atmosférica);
- Extração mineira;
- Transporte de substâncias.

Para Jorge (1998), existem ainda algumas particularidades generalizadas ao setor secundário e terciário no que trata a questão da contaminação do solo. O setor dos serviços, por incluir a distribuição e armazenamento de combustíveis e outras substâncias, constitui uma das formas geograficamente mais dispersas com localização pontual de potenciais situações de



contaminação. Já para o setor da indústria, os tipos e quantidades de emissões dependem do subsetor em que se inserem/a que pertencem, da matéria-prima, do processo e ainda do produto final, sendo que quanto mais antiga for a unidade industrial, maior é o potencial contaminante, maioritariamente devido à falta de atualização das instalações em termos tecnológicos, situação que foi comprovada através da investigação prática de Kovacs et al. (2002) em dois estabelecimentos de produção de pasta de papel.

Segundo Pérez e Eugenio (2018), existem dois tipos de contaminação – local e difusa –, anexados principalmente à contaminação dos solos e da água, independentemente de se tratarem de corpos de água superficiais ou em profundidade. A contaminação local representa, de certa forma, uma contaminação *in situ*, ocorrendo através de atividades industriais, mineiras e militares (utilização de explosivos, por exemplo), deposição de resíduos ou através de acidentes ou descargas (acidentais ou intencionais) de substâncias perigosas. Acidentes relacionados com o transporte dessas substâncias que possam ser localizados/representados pontualmente também se incluem neste tipo de contaminação. A agricultura, caso utilize herbicidas, pesticidas e/ou fertilizantes, dependendo do tipo e quantidades utilizadas, também é identificada como fonte de contaminação local, já que a sua persistência e/ou movimentação no solo difere em quantidades e na escala temporal.

A contaminação difusa representa o oposto da contaminação local e é promovida especialmente pelo transporte dos contaminantes através do meio ambiente por fluxos de água ou corpos de água contaminados. Geralmente este tipo de contaminação gera um maior esforço técnico e político na remediação da água, eliminando ou remediando-se também a fonte de contaminação principal – caso a identificação seja possível. Porém, muitas vezes, isso é impossível, já que a grande parte da contaminação difusa é feita através de descargas de substâncias perigosas em grandes quantidades, sendo facilmente localizadas e identificadas, ou através de múltiplas fontes de contaminação ao longo do tempo, como é o caso das atividades industriais em vários locais e a utilização de herbicidas, pesticidas e fertilizantes por várias entidades, impossibilitando a identificação das fontes. Este tipo de contaminação também invalida a utilização da ferramenta legislativa PPP, explicada de forma geral no subcapítulo 2.2 desta dissertação, sendo também uma das razões da existência de um maior esforço político na resolução destes casos (Pérez e Eugenio, 2018).

A emissão de poluentes para o ambiente é feita através de três formas: emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos (Jorge, 1998). As emissões gasosas influenciam a qualidade do ar e são responsáveis pelo transporte de contaminantes por longas distâncias; os efluentes

líquidos representam as soluções aquosas de todo o tipo; e os resíduos sólidos compreendem os sólidos orgânicos/inorgânicos e as lamas.

A contaminação dos solos é geralmente difícil de detetar visto existir uma limitação e/ou mitigação dos seus efeitos/impactes pelas funções do solo, principalmente através do armazenamento, degradação ou imobilização do contaminante. A diversidade dos tipos de solo e das suas características, a disposição espacial diversificada dos mesmos e a mobilidade dos contaminantes dificultam ainda mais esta tarefa, não tendo sido possível ainda a criação de um procedimento de identificação de solos contaminados que possa ser utilizado tanto a nível europeu como a nível nacional sem se recorrer à análise de solos nos próprios locais onde exista suspeitas de contaminação. Para além disto, e ao contrário da água e do ar, a contaminação do solo está intrinsecamente ligada ao cadastro, na medida em que a remediação dos solos ou a instalação de medidas que mitiguem os problemas se tornam impossíveis de concretizar sem uma expropriação dos terrenos por parte do Estado, dificultando também a aplicação da ferramenta legislativa PPP. Esta situação é agravada em Portugal devido a um cadastro muito incompleto dos terrenos em termos de identificação de proprietários e à inexistência de um quadro legislativo que facilite essa expropriação para o bem comum – problema amplamente mencionado, especialmente nos últimos anos com a quantidade e tamanho dos incêndios florestais que têm ocorrido e com a dificuldade de atribuição de responsabilidades. Caso se façam análises locais, a contaminação em grande escala torna-se relativamente fácil de se identificar através da estrutura do solo e pelos sintomas representados na fauna e flora (Jones et al., 2005; Comissão Europeia, 2012; Panagos et al., 2013; Aqeel et al., 2014; Apostolescu et al., 2017; Pérez e Eugenio, 2018), particularmente quando se tratam de metais pesados, visto que diminuição do pH dos solos aumenta a mobilidade de elementos tóxicos que, apesar de indispensáveis ao crescimento da flora, são facilmente absorvidos.

É ainda extremamente importante mencionar que a contaminação do solo é, evidentemente, um perigo para a saúde da população, mesmo para as que vivem na cidade. Para Krishna e Govil (2007), a poluição antropogénica entra nas mais variadas cadeias alimentares (nas quais o ser humano se situa no topo – recetor final), nas reservas de água potável tanto superficiais como em profundidade, e nos solos, reduzindo a fertilidade dos mesmos, especialmente quando os contaminantes se tratam de metais pesados. A principal conclusão de Krishna e Govil (2007) e ainda de Loska et al. (2004) é que as áreas de estudo, nomeadamente áreas industriais, apresentam solos altamente contaminados por metais pesados com valores várias vezes superiores aos de referência que podem ter impactes na saúde humana, admitindo que a instalação de estações de tratamento de efluentes industriais é importante, especialmente

quando os resíduos industriais são depositados nos terrenos circundantes ou despejados diretamente em cursos de água. As medidas de remediação de solos (ou pelo menos de mitigação) também devem ser implementadas em áreas industriais altamente contaminadas, de forma a que os impactes sejam retardados e menos severos ao longo do tempo.

Os contaminantes mais comuns encontrados no solo são, geralmente, hidrocarbonetos/derivados do petróleo, metais pesados (densidade atômica igual ou superior a 4 g/cm<sup>3</sup> ou 5 vezes mais denso que a água e tóxico até em pequenas concentrações (Huton e Symon, 1986; Battarbee et al., 1988; Nriagu e Pacyna 1988; Nriagu, 1989; Garbarino et al., 1995; Hawkes, 1997 – *in* Duruibe et al., 2007)), herbicidas, pesticidas, fertilizantes e solventes (Jorge, 1998; Duruibe et al., 2007; Aqeel et al., 2014).

Os metais pesados incluem chumbo (Pb), cádmio (Cd), zinco (Zn), mercúrio (Hg), arsénio (As), prata (Ag), crómio (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe) e os elementos do grupo da platina. Estes metais são emitidos e/ou libertados para o ambiente tanto de forma natural como de forma antropogénica, sendo a indústria e a atividade mineira os principais responsáveis das fontes antrópicas pela disseminação de metais pesados pelo território. Mesmo após a cessação das atividades, estes tipos de contaminantes persistem no ambiente durante vários anos e observa-se um aumento da concentração destes metais pesados na fauna e flora, tal como herbicidas, pesticidas e fertilizantes utilizados na agricultura (Loska et al., 2004; Duruibe et al., 2007; Aqeel et al., 2014).



## Capítulo 2 – Enquadramento Geral

## 2.1 – Enquadramento geográfico da área de estudo

A área de estudo escolhida para testar o modelo tem cerca de 920 km<sup>2</sup> (CAOP 2017) e é composta por cinco municípios - Loures, Vila Franca de Xira, Alenquer, Sobral de Monte Agraço e Arruda dos Vinhos (fig. 2). Foi escolhida com base nas diferenças geomorfológicas, pela presença do rio e da reserva natural do estuário do Tejo, dos solos agrícolas da margem esquerda do rio Tejo incluídos nos limites administrativos do município de Vila Franca de Xira e pela dispersão geral das atividades potencialmente contaminantes identificadas posteriormente na dissertação.

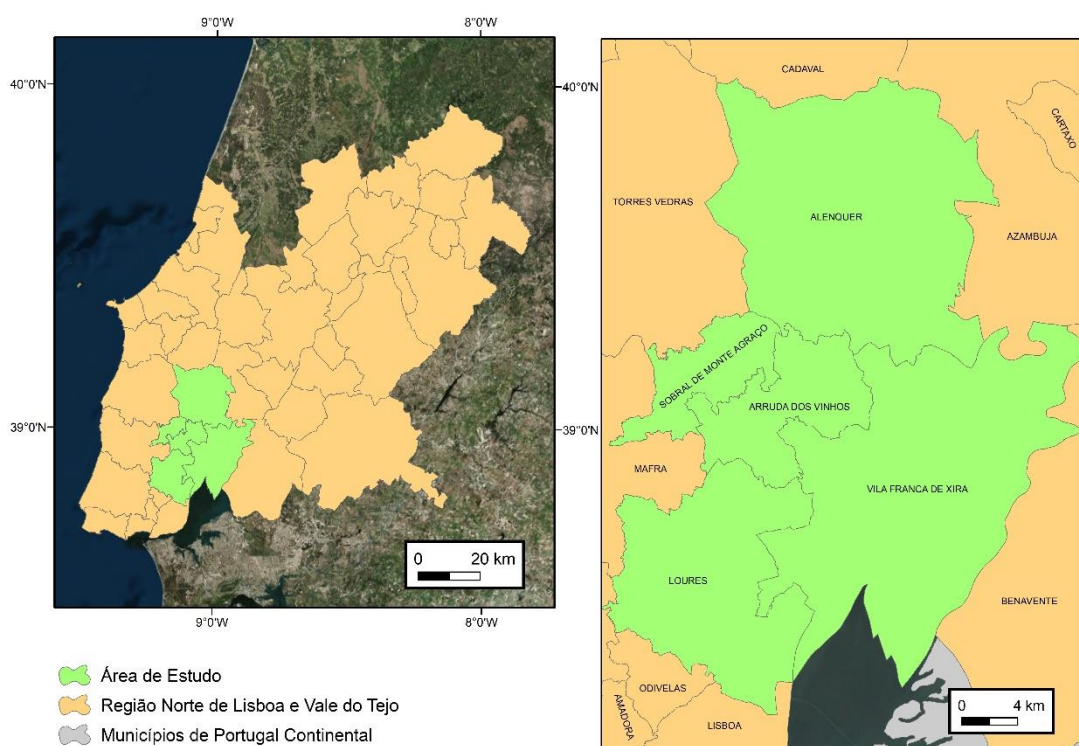


Figura 2 – Enquadramento geográfico da área de estudo

O relevo da região norte de Lisboa e Vale do Tejo também foi tida em conta na escolha da área de estudo devido à sua influência no transporte de contaminantes através de escoamento superficial. Observando a figura 3, as áreas de menor altitude correspondem, naturalmente, às áreas litorais e à área circundante ao rio Tejo. Por outro lado, as áreas de maior altitude são observadas a nordeste. A área de estudo escolhida apresenta não só grandes variações de altitude (e declive) como também apresenta grandes disparidades relativamente ao uso e ocupação do solo, especialmente na questão da dispersão do território artificializado, onde estão inseridas grandes partes das principais fontes de contaminação dos solos, estando grande

parte do território artificializado nos municípios de Loures e Vila Franca de Xira, particularmente ao longo da margem direita do rio Tejo.

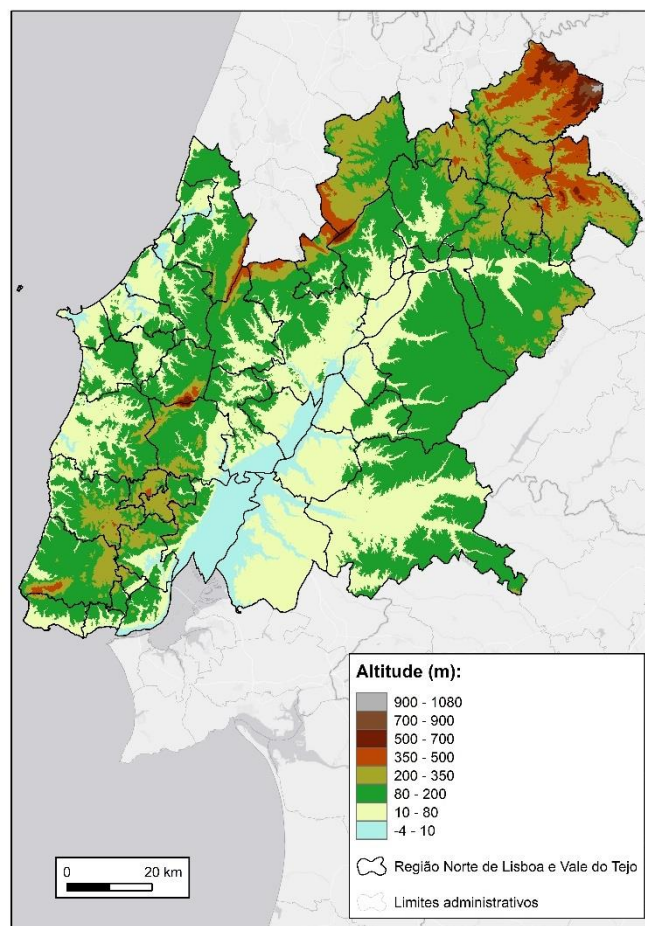


Figura 3 – Altitude (m) da região Norte de Lisboa e Vale do Tejo

## 2.2 – Introdução ao quadro legislativo português

Até à data deste trabalho, não existe qualquer tipo de legislação específica em Portugal relativa à contaminação dos solos, apesar de existir uma proposta de lei (proposta de Decreto-Lei ProSolos de 2015 da APA) ainda não aprovada. Contudo, existem decretos-lei que se focam na prevenção e na remediação, ainda que de forma muito geral, baseados no PPP (*Polluter-Pays Principle*) e derivados de diretivas europeias nesta temática, focando-se maioritariamente em solos contaminados que representem perigo para o ambiente e/ou para a saúde humana, mais conhecidos por passivos ambientais. O PPP é a medida encontrada para responsabilizar proprietários de terrenos (individuais ou empresariais) em casos de contaminação dos solos, obrigando, em termos legais, os proprietários dos mesmos a impor medidas de prevenção e mitigação relativas à contaminação dos solos e a proceder à remediação prévia antes da

requalificação e/ou venda dos terrenos. Mais se acrescenta que, em caso de contaminação, os proprietários são totalmente responsáveis por todos os danos causados no ambiente.

Relativamente às diretivas europeias, existe, principalmente desde o estabelecimento de uma estrutura para a proteção de solos em 2006 (Comissão Europeia, 2006), um leque extenso de políticas que abordam esta temática também de forma generalizada. Estas podem ser consultadas principalmente na tabela 2 da página 25 do relatório técnico de Pérez e Eugenio (2018) para a Comissão Europeia de forma sucinta e organizada, tendo sido muitas delas transpostas para a ordem jurídica nacional. Estas diretivas representam grande parte do quadro legislativo português mais recente relacionado com a degradação geral dos solos.

Dos mais variados decretos-lei da ordem jurídica nacional, são destacados quatro neste trabalho, nomeadamente a Diretiva Seveso III, a Diretiva CELE, o Protocolo PRTR e a proposta de decreto-lei ProSolos (de forma muito generalizada). A escolha destes decretos-lei teve como objetivo a tentativa de identificação das principais políticas preventivas, se existentes, e dos estabelecimentos abrangidos por diretivas europeias de forma a serem utilizados como fontes de contaminação na modelação da propagação.

#### 2.2.1 – Proposta de Decreto-Lei ProSolos

A proposta de Decreto-Lei ProSolos, datada de 2015, visa estabelecer o quadro legal específico da prevenção da contaminação e da remediação dos solos, constituindo-se como um marco da política de ambiente em Portugal ao tentar colmatar as graves lacunas existentes no quadro legislativo português relativamente à temática de contaminação dos solos, quer no regime de prevenção, quer no regime de remediação. Ele tem ainda como objetivo fixar o processo de avaliação da qualidade e de remediação do solo e de facilitar e simplificar a utilização da ferramenta legislativa PPP, tornando mais fácil a transmissão do direito de propriedade do solo e registo predial em prol do interesse nacional em políticas de solo.

De forma sucinta, o processo de avaliação da qualidade do solo divide-se em quatro etapas sequenciais e dependentes umas das outras:

- Avaliação Preliminar do Risco de Contaminação do Solo;
- Dependendo do risco, poderá ter de existir uma Avaliação Exploratória da Qualidade do Solo assente em amostragens;
- Em função dos resultados, proceder-se a uma Avaliação Detalhada da Qualidade do Solo;



- Em caso de risco inaceitável tanto para a saúde humana como para o ambiente, a realização de um Projeto de Remediação do solo.

A proposta apresenta ainda uma lista extensa de atividades potencialmente contaminantes do solo no Anexo 1 (onde se inclui praticamente todas as atividades descritas no capítulo e grande parte das atividades utilizadas neste trabalho) e de contaminantes e dos respetivos valores de referência nas áreas de uso agrícola ou uso urbano/industrial no Anexo 2 da proposta de decreto-lei.

### 2.2.2 – Decreto-Lei 150/2015 – Seveso III

A Diretiva 82/501/CEE da Comissão Económica Europeia (CEE), mais conhecida como Diretiva Seveso I, foi criada pela Comissão Europeia a 1 de junho de 1982, após o acidente na cidade Seveso, em Itália, a 10 de julho de 1976, causado pela rutura de um tanque de armazenagem de químicos. Este acidente teve efeitos tão nocivos para o ambiente e para o homem que incentivou a criação da referida diretiva de modo a prevenir futuros acidentes semelhantes. Para evitar a entrada do químico na cadeia alimentar, milhares de animais foram mortos e, segundo (Araújo, 2013), este acidente causou a evacuação de mais de 600 e tratamento a mais de 2000 pessoas por envenenamento.

A diretiva foi alterada pela Diretiva 96/82/CEE, ou Diretiva Seveso II, que foi transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei nº 254/2007 de 12 de julho, alterado pelo Decreto-Lei nº 42/2014 de 18 de julho.

Estas diretivas tiveram como objetivo a identificação e a imposição de exigências aos estabelecimentos industriais que apresentem um alto nível de perigosidade ambiental na perspetiva de evitar e/ou mitigar as consequências da atividade industrial e de possíveis acidentes. A adoção destas políticas de prevenção passou então a ser obrigatória a todos os estabelecimentos industriais pertencentes à então Comunidade Económica Europeia.

A Diretiva nº 2012/18/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, mais conhecida por Diretiva Seveso III e atual diretiva em vigor, que revogou a Diretiva Seveso II, foi transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei nº 150/2015 de 5 de agosto e visa um “reforço do nível de proteção”. A principal alteração observada neste decreto-lei “é a adaptação do anexo 1 da Diretiva Seveso III, que prevê as categorias de substâncias perigosas, ao sistema de classificação de substâncias e misturas definido pelo Regulamento (CE) nº 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2008”. O anexo 1

define então a categoria de um determinado estabelecimento industrial, de acordo com as quantidades de substâncias perigosas presentes nas instalações. Cada estabelecimento que atinja os requisitos mínimos para se ver integrado na Diretiva Seveso III é então classificado como categoria Inferior ou Superior.

Está ainda prevista a criação de um cadastro de zonas de perigosidade pela APA. As zonas de perigosidade são feitas pelos operadores (“qualquer pessoa singular ou coletiva que explore ou possua um estabelecimento ou instalação ou qualquer pessoa em quem tenha sido delegado um poder económico ou decisório determinante sobre o funcionamento técnico do estabelecimento ou instalação” – artigo 3º, linha L) e entregues, com propostas fundamentadas, à entidade competente mencionada anteriormente. O artigo 13º define as datas limites para a entrega da informação necessária por parte do operador. A APA, de modo a clarificar essas datas-limite para estabelecimentos em atividade, colocou-as no seu sítio da *internet*, sendo estas o dia 6 de agosto de 2016 para a categoria superior e 6 de agosto de 2017 para a categoria inferior. Todos os novos estabelecimentos têm um prazo máximo de 18 meses para entregar as propostas e toda a informação necessária. O cadastro das zonas de perigosidade, apesar de não existir data limite para a criação do mesmo por parte da entidade competente, se já existir, não está disponível ao público. Contudo, e de acordo com o artigo 10º, existe a obrigação por parte das câmaras municipais de integrar na carta de condicionantes do Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT) as distâncias de segurança e as zonas de perigosidade relativas a estes estabelecimentos. Como o presente decreto-lei apenas entrou em vigor em agosto de 2015 (quatro anos entre a criação das zonas de perigosidade por parte dos operadores, a criação do cadastro por parte da APA e alteração/revisão dos PMOT por parte das câmaras municipais que tenham, dentro dos seus limites administrativos, indústrias Seveso), as distâncias de segurança e as zonas de perigosidade não estão ainda integrados nas cartas de condicionantes dos PMOT, pelo menos dos municípios referentes à área de estudo.

Em termos práticos, as indústrias Seveso são, neste trabalho, os estabelecimentos cuja exploração em termos de modelação é mais aprofundado devido à quantidade de substâncias perigosas (e potencial alcance em caso de acidente via descarga acidental ou intencional) e à perigosidade inerente a este tipo de estabelecimentos industriais, apesar da obrigatoriedade de implementação de medidas de prevenção e mitigação dos impactes em caso de acidente.

### 2.2.3 – Decreto-Lei 38/2013 – Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)

A Diretiva nº 2003/87/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Outubro de 2003, mais conhecida por Diretiva CELE, foi “alterada pela Diretiva n.º 2004/101/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de outubro de 2004, no que diz respeito aos mecanismos baseados em projetos do Protocolo de Quioto, pelo Regulamento (CE) n.º 219/2009, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de março de 2009, e pela Diretiva n.º 2009/29/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009” (DL nº 38/2013, artigo 1.º) e transposta para a ordem jurídica interna pelo decreto-lei nº38/2013 de 15 de Março.

O objetivo principal desta diretiva é a diminuição de emissões de GEE “a fim de contribuir para atingir os níveis considerados cientificamente necessários para evitar as alterações climáticas.” Estabelece ainda “disposições de avaliação e aplicação do compromisso de redução de emissões superior a 20 %”.

O decreto-lei regula a atribuição de licenças de emissão e é responsável pela transição da atribuição de 100 % de licenças de emissão gratuitas para 100 % de licenças de emissão atribuídas por leilão até 2027. Este instrumento aplica-se principalmente “ao setor energético e a outros, como a produção e transformação de metais ferrosos, cimento, cal, indústria vidreira, cerâmica e produção de pasta de papel, papel e cartão, que representam sensivelmente quase metade das emissões de GEE ao nível nacional”, podendo assim ser, em termos práticos, utilizado como instrumento de identificação de estabelecimentos potencialmente contaminantes para este trabalho. Apesar de o decreto-lei se focar na emissão de GEE, muitas das indústrias mencionadas na citação anterior do presente decreto-lei são também responsáveis pela criação de resíduos através dos processos de fabrico industriais e apresentam ainda o armazenamento dos mesmos e da matéria prima dentro dos estabelecimentos.

### 2.2.4 – Decreto-Lei 127/2008 – *Pollutant Release and Transfer Register* (PRTR)

O Decreto-Lei nº 127/2008 “assegura a execução e garante o cumprimento, na ordem jurídica interna, das obrigações decorrentes para o Estado Português do Regulamento (CE) n.º 166/2006, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Janeiro, relativo à criação do Registo Europeu das Emissões e Transferências de Poluentes e que altera as Diretivas nº 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro, relativa aos resíduos perigosos, e nº 96/61/CE, do Conselho, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição”.

O Protocolo PRTR, ou o protocolo de registo de emissões e transferência de poluentes como é conhecido em Portugal surgiu ao nível das Nações Unidas. A Convenção de Aarhus, como ficou

conhecida, teve como objetivo a facilitação do acesso à informação, promovendo a participação pública nas tomadas de decisões relativas ao ambiente. Estabelece a obrigatoriedade do registo e da comunicação anual das emissões e/ou transferências de poluentes dos operadores às entidades competentes (APA, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional - CCDR - e Administração da Região Hidrográfica - ARH), estando a APA responsável pela disponibilização dos dados e uniformização dos mesmos para os comunicar à Comissão Europeia.

Segundo o artigo 4º, o registo de emissões e transferências de poluentes contém informação sobre as emissões para o ar, água e solo dos poluentes listados no anexo 2 e as transferências para fora dos locais dos resíduos perigosos, não perigosos e dos poluentes presentes em águas residuais, listados no anexo 2 e provenientes de atividades listadas no anexo 1 do Regulamento. Todos os registos devem ser anotados, independentemente das quantidades estipuladas no anexo 2 do decreto-lei.

Também em termos práticos, e utilizando a mesma lógica da Diretiva Seveso e CELE, todos estabelecimentos referentes e integrados no Protocolo PRTR identificam estabelecimentos que albergam atividades potencialmente contaminantes, mais que não seja pelo transporte de resíduos.

## Capítulo 3 – Metodologia

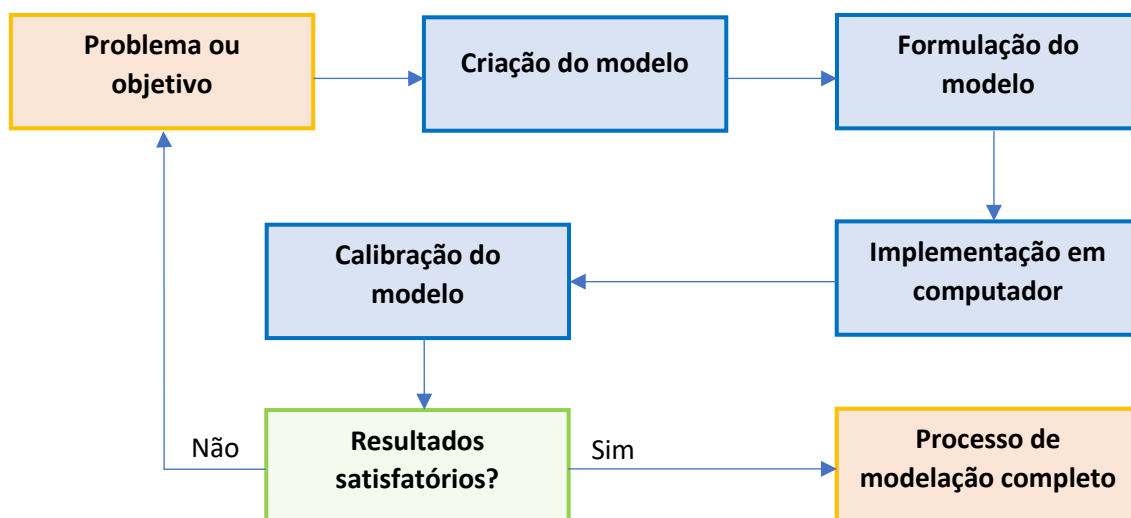
### 3.1 – Modelos espaciais em ambiente SIG

Os SIG são constantemente apontados como ferramentas de apoio à decisão. Para muitos autores, de entre os quais Rocha (2012) e Longley et al. (2015), os SIG são ferramentas computacionais com capacidades de reunir, armazenar, processar, analisar e de visualizar informação geográfica, permitindo a construção de modelos espaciais cuja elaboração seria impossível de outra forma. A sua capacidade de representar objetos ou fenómenos reais de forma simplificada permitem uma análise e/ou compreensão dos sistemas que de outra forma, devido à complexidade dos mesmos, seria extremamente complicado ou até mesmo impossível, sendo principalmente utilizados como ferramentas de apoio na perceção e localização de um problema espacial a qualquer escala. De certa forma, estas características inerentes a um SIG e aos dados espaciais, aliadas ao facto de quase toda a atividade e decisões humanas terem uma componente espacial, são as principais razões pelas quais a análise espacial e os próprios SIG se tornaram numa indústria global e se encontram num crescimento e desenvolvimento cada vez mais rápido, sendo utilizados nos mais variados ramos económicos e científicos.

Os vários modelos de representação de fenómenos espaciais partilham, apesar da grande variabilidade e de forma geral, os mesmos processos de construção. Wilson (1974), citado por Rocha (2012), identificou 10 fases necessárias à construção de modelos de planeamento onde foram, mais tarde, simplificados por Reif (1978) em seis fases, nomeadamente: i) definição do problema (a que perguntas deve o modelo dar respostas); ii) escolha das variáveis (dependem da finalidade do modelo e dos objetivos); iii) disponibilidade dos dados existentes; iv) escolha da base teórica, dos níveis de generalização e dos métodos de solução; v) metodologias de calibração do modelo e vi) comparação dos resultados do modelo com resultados reais.

Mais tarde, Caldwell e Ram (1999) adaptam e simplificam ainda mais as fases do processo de criação de modelos tornando a sua adaptação para os SIG bastante mais simples (fig. 4), também com seis fases que se entendem por: i) definição do problema e de objetivos claros; ii) construção do modelo (decisão da informação a utilizar e a que é negligenciável de acordo com o objetivo principal e o problema a que o modelo procura responder); iii) Decisão de como representar a informação matematicamente (considerado o passo crucial e também o mais complicado pelos autores) através de equações ou outra linguagem matemática; iv) Escolha dos métodos de solução (analítico – baseado exclusivamente na matemática; ou numérico – engloba a matemática e simulação à escala real ou reduzida) e do nível de especificidade do método (método mais geral e aproximado ou mais específico e exato); v) Interpretação dos resultados

do modelo relativamente aos resultados esperados; e vi) Validar o modelo através de comparações com a realidade.



*Figura 4 – Fluxograma do processo geral de modelação espacial  
Adaptado de Rocha (2012), pág. 280.*

Os autores, Caldwell e Ram (1999), referem ainda que os modelos matemáticos são considerados processos iterativos, já que a obtenção de resultados insatisfatórios permite, se necessário, a adaptação gradual do modelo até se obter resultados considerados bons e que possam e/ou consigam responder aos problemas e objetivos iniciais.

Já para Rocha (2012), o processo de criação é um pouco diferente, apesar de ser constituído também por seis fases: i) Definição da área de interesse e identificação de potenciais variáveis; ii) elaboração de hipótese(s); iii) testar a(s) hipótese(s); iv) verificação da sensibilidade do modelo em relação a alterações (maioria dos parâmetros dos modelos são insensíveis, ou seja, quaisquer alterações nos valores dos parâmetros influenciam os resultados e comportamento do modelo) e possíveis testes de cenários futuros; v) e vi) permitem o estudo da utilidade do modelo e permitem a reprodução por outros de acordo com os seus interesses.

Tendo em conta a grande variabilidade dos modelos, o processo de criação deve ser encarado como flexível e iterativo e não como regras/passos a seguir, sendo necessário adaptar as fases às necessidades do modelo a criar e aos resultados pretendidos/espetáveis. Posto isto, o processo utilizado na criação deste modelo foi uma mistura dos processos descritos por Caldwell e Ram (1999) e Rocha (2012). A figura 5 representa os processos gerais de modelação deste trabalho.

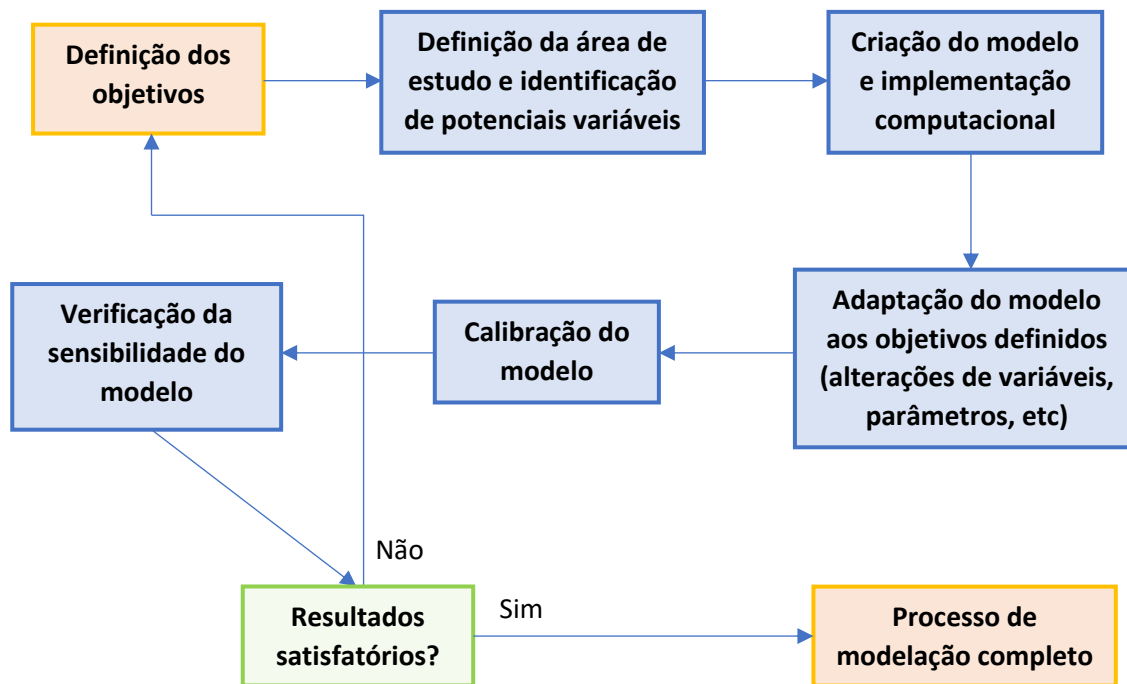


Figura 5 – Fluxograma do processo de criação do modelo espacial

### 3.2 – Métodos utilizados

Provavelmente uma das decisões mais questionadas neste trabalho é a utilização de programação na construção deste modelo, nomeadamente a criação de um *script* utilizando a linguagem de programação Python e o módulo Arcpy da ESRI (Anexo II). Apesar de dificultar a replicação e compreensão deste trabalho por quem não tenha conhecimentos em geocomputação, serão apresentados modelos conceituais ao longo dos respetivos subcapítulos de forma a simplificar e a facilitar a compreensão e análise de todo o processo de construção, seja do modelo de suscetibilidade, seja da modelação da propagação da contaminação de solos.

A construção de modelos em SIG são processos demorados que muitas vezes requerem máquinas com poder de processamento elevado e são sujeitos a várias modificações ou calibrações ao longo da sua criação, quer por resultados pouco satisfatórios ou por alterações simples ou complexas, como por exemplo a introdução ou eliminação de variáveis devido à redundância/importância como fator explicativo do fenómeno, alteração de ponderações de variáveis, valores de classes, atualização de variáveis utilizando dados mais recentes, pela alteração de métodos estatísticos utilizados no modelo ou no tratamento de variáveis, pelo simples facto do próprio modelo criado não responder ao problema definido, entre outros (Rocha, 2012). Neste sentido, a criação de um *script* (semi-automatização do processo de



criação) apresenta-se como solução a um trabalho que pode ser extremamente repetitivo e demorado e que facilita a alteração dos vários aspetos do modelo em qualquer etapa do mesmo, especialmente quando se tratam de casos onde exista uma calibração heurística – tentativa e erro (Reif, 1973) - onde a constante elaboração total do modelo espacial em SIG para observação de resultados e verificação da sensibilidade do mesmo (susceptibilidade a alterações) seja uma realidade. Posto isto, e com o intuito de suavizar, simplificar e acelerar as alterações e o desenvolvimento do modelo, a semi-automatização do processo torna-se indispensável.

Uma das metodologias mais interessantes ao nível da temática de contaminação dos solos a uma escala local e aplicada a ambientes urbano-industriais foi feita por Brito et al. (2003). Os autores utilizam, na sua metodologia de avaliação da contaminação de solos, uma caracterização das fontes baseada no potencial impacte de contaminação de uma determinada fonte de contaminação. Foram dois os critérios utilizados nessa caracterização, nomeadamente o potencial de contaminação e as características espaço-temporais e complementares.

O potencial de contaminação caracteriza a fonte de acordo com a perigosidade utilizando informação expedita e de baixo custo para identificar duas coisas: o tipo de atividade industrial (e a respetiva contaminação produzida e/ou exetável) e incidentes ocorridos e as características espaço-temporais e complementares utilizam a localização, a dimensão, o histórico de atividade e a capacidade de gestão de resíduos como parâmetros, independentemente dos resultados obtidos no primeiro critério em termos de potencial. Para isto atribuem valores para cada parâmetro de cada critério utilizado.

Brito et al. (2003) fornecem assim uma metodologia capaz de fazer uma distinção de prioridades de intervenção dos locais contaminados, utilizando informação relativamente escassa e de baixo custo, mas demorada, avaliando ainda o impacte da indústria no meio biofísico e antrópico. Porém, ao utilizarem informação generalizada e apesar de os resultados serem suficientemente bons para uma análise local do terreno, a metodologia não tem em consideração as variáveis indispensáveis à análise de susceptibilidade de contaminação utilizadas neste modelo, centrando-se mais na infiltração *in situ* dos contaminantes do que no escoamento dos mesmos e na avaliação da perigosidade das fontes. Pode ser assim encarado como um método de avaliação local que descarta o transporte dos contaminantes pela superfície terrestre e que pode ser utilizado como método de identificação ou de categorização da indústria numa determinada área de trabalho caso exista uma integração da distância a fontes de contaminação enquanto variável no modelo de susceptibilidade.

Já Azambuja et al. (2000) mencionam a eletrorresistividade como método indireto de diagnóstico de contaminação dos solos e subsolos relativamente aos hidrocarbonetos e respetivos derivados, apresentando assim um método de identificação de locais contaminados. Afirmam ainda que a análise do risco (e da suscetibilidade inerente) é muito complicada e complexa visto que a previsão do impacte ambiental depende de vários fatores tais como quantidades e tipos de contaminantes, a duração da sua persistência no solo, a capacidade de atenuação do meio e do uso e ocupação do solo.

Existem vários métodos de construção de modelos de suscetibilidade e o seu uso varia de acordo com o fenómeno em estudo, sendo a sua validação de carácter obrigatório exceto nos casos em que seja impraticável em um período considerado adequado, como por exemplo na erosão hídrica do solo. A validação dos modelos de suscetibilidade de contaminação dos solos, embora não seja impossível de se fazer, é muito complicada e não é viável economicamente com os dados disponíveis atualmente. Como ainda não existe um inventário de locais contaminados disponíveis ao público (Gorlach et al., 2004; Comissão Europeia, 2012), este problema agrava-se. Existem, em teoria, três métodos de validação para este modelo de suscetibilidade de contaminação dos solos: através de análises do solo (custo económico insuportável para a obtenção de uma amostragem significativa para a vasta maioria das câmaras municipais de Portugal, com a agravante de não se conhecer o estado 'natural' do solo); através de um inventário relativamente robusto de áreas contaminadas/passivos ambientais (presentemente a ser construído pela APA, embora, como já foi mencionado, não esteja ainda disponível ao público), ou através de deteção remota de metais pesados (cuja tecnologia ainda não o permite). A opção da deteção remota é ainda mais limitada pelo facto de, teoricamente, apenas detetar uma pequena quantidade de metais pesados do leque extenso de substâncias perigosas para o ambiente e para a saúde humana.

Caso exista a possibilidade de obter uma amostragem de análises de solo relativamente grande que reflita o atual estado dos solos nesta temática ou um inventário nacional de locais/solos contaminados ou passivos ambientais num determinado município (com uma amostragem representativa do fenómeno e não apenas dois ou três locais na área em estudo), é possível recorrer-se a outros métodos de criação de um modelo de suscetibilidade, tais como o valor informativo e área abaixo da curva, a regressão logística, a probabilidade bayesiana, entre outros, dependendo do tipo de dados que são disponibilizados, e que permitam uma validação do mesmo.

Para o modelo de suscetibilidade construído utilizou-se um modelo de atrito. É imperativo que se tenha em mente que este modelo de suscetibilidade é orientado para o escoamento superficial, partindo do pressuposto que todas as fontes utilizadas na modelação de propagação são passíveis de ocorrência de acidentes com a inerente descarga de substâncias perigosas diretamente para o solo e que a escolha do modelo de atrito foi feita devido à falta de opções tendo em conta os dados disponíveis, ou seja, pela inexistência de dados relativos à variável dependente (locais/áreas contaminadas).

A escolha do modelo de atrito deve-se ainda ao facto de, para além do mencionado no parágrafo anterior, permitir a alteração e adaptação dos valores de ponderação e a adição ou subtração de variáveis de acordo com o objetivo final do modelo, ou seja, permite a adaptação do mesmo a diferentes substâncias perigosas e/ou a diferentes estações do ano através dos três tipos de calibração descritos por Reif (1973) - calibração analítica, heurística e/ou opinativa -, concedendo-lhe uma versatilidade e simplicidade muito superior em termos de modelação, em troca de uma possível exatidão superior conseguida por outros métodos. Contudo, a versatilidade de um modelo não é inversamente proporcional à exatidão dos resultados conseguidos.

Tecnicamente, segundo Hengl (2006), o erro de precisão gráfico máximo aceitável nos dados situa-se no meio milímetro e embora este erro de precisão gráfica seja completamente indispensável para impressão em papel (p.e. um troço da rede viária desenhado num mapa com uma escala de 1:25 000 com um traçado de meio milímetro, representa um troço no território com 12,5 metros de largura, onde troços com largura inferior, se inseridos no mapa, são difíceis de interpretar, sendo geralmente omitidos), em termos práticos aplicados aos SIG, este valor determina o tamanho mínimo das células aquando a conversão de vetor para matriz, e vice-versa, sem que exista perda ou generalização muito grande de informação relevante.

Para uma escala de 1:25 000, o tamanho mínimo da célula situa-se nos 12,5 metros. Porém, para a informação obtida das folhas da carta militar de Portugal, aceita-se a conversão de vetor para matriz utilizando células de 10 metros, definindo assim a escala base dos dados de estrutura matricial.

De forma geral foi utilizada uma Análise Multicritério (AMC<sup>1</sup>), com recurso à Combinação Linear Ponderada (CLP) na junção das duas variáveis e uma função não-linear na transformação dos valores do declive para a escala de valores do atrito utilizada.

### 3.3 – Escolha de variáveis espaciais

O modelo de suscetibilidade de contaminação de solos utiliza apenas duas variáveis espaciais, nomeadamente a permeabilidade, representada pelo número de escoamento, e os declives. Devido à complexidade do fenómeno em estudo e à dificuldade de integração de outras variáveis relevantes tendo em consideração a criação de um modelo de suscetibilidade com uma base comum à escala municipal para todo o País, algumas variáveis tornam-se redundantes e outras veem a sua integração no modelo impossibilitada sem que o mesmo continue a representar, de forma simplificada, o fenómeno em estudo sem prejudicar a análise e/ou compreensão de todo o sistema.

Posto isto, apesar de algumas referências bibliográficas no ponto 3.1 mencionarem a utilização da variável da extensão de vertentes na metodologia de um modelo de suscetibilidade de contaminação de solos, esta variável torna-se redundante num modelo de atrito que permita a modelação da propagação, já que o valor cumulativo de atrito cresce ao longo da vertente, desprezando a localização da maioria das fontes de contaminação que podem estar em qualquer parte dessa mesma vertente.

As variáveis precipitação e velocidade/direção do vento, sejam elas referentes a valores mínimos, médios ou máximos para qualquer intervalo de tempo (diários, semanais...), também apresentam um papel fundamental para esta temática, quer pelo impacte que têm na saturação do solo (diminuição do processo de infiltração e aumento do processo de escoamento superficial) quer pela possibilitação de transportes de longas distâncias das substâncias pela atmosfera. Contudo, na variável relativa aos ventos, devido ao foco da modelação de propagação dos contaminantes por escoamento superficial e partindo do pressuposto que a descarga de contaminantes ocorre de forma súbita e incontrolada, o transporte e deposição de contaminantes pela atmosfera não foi incluída, para além de (provavelmente) incluir os incêndios florestais enquanto fontes de contaminação.

Pela mesma linha de raciocínio, e tendo em conta uma das finalidades do modelo (suscetibilidade de contaminação de solos para Portugal), o mesmo se pode dizer da precipitação. De certa forma, ao influenciar diretamente o número de escoamento atribuído à variável da permeabilidade (explicado posteriormente) e ao existir o intuito de criar um modelo que represente a suscetibilidade a uma escala municipal e que seja aplicável para qualquer município do País, a precipitação não está inserida no modelo, já que pode, ou não, observar alterações significativas dentro dos municípios, salvo raras exceções relativas a microclimas.

É possível, porém, adicionar essas variáveis, caso seja alterado o objetivo principal do modelo construído e da escala de trabalho (p.e. criar um mapa de suscetibilidade para o País utilizando células de 10 metros tem vários problemas associados, incluindo o poder de processamento computacional e espaço de armazenamento necessário). Caso o objetivo passe a ser exclusivamente a criação de um modelo de suscetibilidade de contaminação de solos sem que exista a modelação da propagação, a adição de outras variáveis torna-se não só possível, como é até encorajado. O vento deve ser integrado na medida em que representa a deposição de contaminantes cujo transporte seja feito pela atmosfera, embora a instalação de filtros nos estabelecimentos com libertação de gases já seja obrigatória (queima de resíduos, produção de energia, gases resultantes de processos químicos, entre outros) e sejam, na maioria dos casos, bastante eficazes. Na mesma medida, a distância às áreas urbanizadas, indústrias e à rede viária também devem ser integradas por representarem áreas onde a deposição de contaminantes provenientes de fontes antropogénicas é maior (resíduos, águas contaminadas, óleos, metais pesados, entre outros). Em suma, a adição da velocidade/direção dos ventos e a distância às fontes de contaminação (ainda que separados nas suas respetivas classes – indústria separada por tipo de contaminação/poluição, agricultura e/ou pecuária, rede viária, entre outros) tornam-se imprescindíveis, mesmo à escala espacial do modelo em questão. A adição destas variáveis leva a que a ponderação das variáveis na CLP passe a ser feito através de métodos como o Processo Analítico Hierárquico (PAH) facilitando a atribuição de pesos de acordo com a importância relativa das variáveis entre elas, nos casos onde existam três ou mais variáveis.

A criação de cenários com este modelo é certamente possível utilizando os métodos de calibração heurísticos e opinativos, apesar de não ter sido explorada estas opções. Alguns dos exemplos de cenários possíveis de criar são a alteração dos valores do número de escoamento de acordo com a saturação do solo em conjunto com a integração da precipitação (podendo representar as condições meteorológicas de Inverno ou Verão, dia mais, ou menos, chuvoso do ano, entre outros), podendo até calcular-se a perda inicial de precipitação resultante da infiltração no solo até à ocorrência de escoamento superficial utilizando as fórmulas do *Soil Conservation Service* (SCS) descritas, por exemplo, por Lencastre e Franco (2010). Calculando-se a perda inicial de precipitação utilizando o número de escoamento e os valores de precipitação, é até possível distinguir-se onde poderá existir escoamento superficial e onde apenas existe infiltração, mesmo em várias estações do ano ou utilizando os dados com maior quantidade de precipitação diária por ano, podendo ainda utilizar-se as áreas cuja precipitação nunca atinja os valores de perda inicial como áreas de restrição à propagação da contaminação. É, porém, recomendada cautela na análise desses resultados. Com o aumento de precipitação e da

consequente saturação do solo, o aumento do escoamento superficial é inevitável, causando o transporte de contaminantes até aos cursos de água mais próximos, diminuindo a suscetibilidade de contaminação dos solos e aumentando a suscetibilidade de contaminação dos corpos de água, tanto à superfície como em profundidade (Ward e Trimble, 2003). A introdução das áreas onde a perda inicial seja maior do que a precipitação como áreas de restrição também poderá dar origem a problemas, já que grandes quantidades de substâncias perigosas podem cobrir essas áreas com uma velocidade superior à da perda inicial, independentemente do estado de saturação do solo, ou seja, descargas de substâncias perigosas em grandes quantidades não estão dependentes da precipitação nem do estado de saturação do solo para se observar uma potencial propagação por escoamento superficial. Por essa razão, a introdução dessa restrição deve ser feita apenas em casos de contaminação contínua e em quantidades suficientes para que o transporte dessas substâncias apenas possa acontecer com a intervenção direta da precipitação.

Outro possível cenário consiste na calibração do modelo para certos tipos de substâncias perigosas cujo comportamento no ambiente seja conhecido com recurso a especialistas (calibração opinativa). Como certas substâncias perigosas reagem com a água e a própria precipitação influencia a concentração de substâncias perigosas no ambiente, a integração da precipitação poderá ficar dependente do tipo de substâncias em modelação. Porém, para a modelação da propagação, existem *softwares* específicos para este efeito, para além de que uma análise da propagação de cada tipo de substância perigosa à escala municipal é quase irrelevante no regime preventivo e extremamente difícil de se obter.

Para a modelação da propagação da contaminação por escoamento superficial foram utilizadas as localizações de estabelecimentos industriais cuja identificação é obrigatória nos termos dos decretos-lei descritos no capítulo 2 deste trabalho. Apesar de alguns desses estabelecimentos não produzirem resíduos sólidos ou efluentes líquidos e/ou não efetuarem o seu respetivo armazenamento e/ou transporte dentro do estabelecimento, são inseridos na amostra de teste de forma a que exista uma cobertura de toda a área de estudo para se observar o comportamento do modelo em áreas com diferentes características geomorfológicas. No caso das indústrias Seveso, ao serem estabelecimentos de grandes dimensões, por serem responsáveis pelo processamento e/ou armazenamento de grandes quantidades de substâncias perigosas e pelo facto de a sua localização no ficheiro de pontos retirados do Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAmb) representar, em todos os casos, a entrada e não as instalações em si, foi necessário desenhar os polígonos referentes à totalidade do estabelecimento, mesmo para uma escala de 1:25 000 (células de 10 m).

Existe ainda uma particularidade anexada aos fenómenos espaciais considerados perigosos, nomeadamente a questão da presença de elementos expostos/sensíveis. Embora este trabalho não inclua nem a vulnerabilidade do território em casos de contaminação de solos nem a presença ou ausência de elementos expostos, a presença deste fator, em análises espaciais e não propriamente como aspeto integrante do próprio modelo, é indispensável em muitos casos, especialmente quando envolva a necessidade de ativar os planos de emergência da ANEPC (como por exemplo a ocorrência de sismos ou de fugas de substâncias perigosas, particularmente em estado gasoso - cobrem uma grande porção do território em relativamente pouco tempo).

### 3.4 – Dados e tratamento da informação inicial

Na tabela 2 são descritos os dados iniciais e as respetivas fontes, autores e escala (quando disponíveis).

Todos os dados utilizados foram previamente projetados e desenhados para o sistema de coordenadas ETRS89 / Portugal TM06 (EPSG: 3763). Fez-se ainda uma validação topológica às curvas de nível referente à não interseção e existência de pseudo-nós (encontrados 7169 erros, alguns dos quais referentes à junção de dados provenientes de diferentes folhas da Carta Militar de Portugal), validações geométricas nos tipos de solo referentes à não sobreposição e espaços em branco (encontrados 64 erros) e a validação da localização geral dos estabelecimentos integrantes da amostra (encontrados 3 erros cuja localização do estabelecimento estava incorreta). A validação geométrica foi necessária devido a inconsistências geométricas existentes nos ficheiros (que estavam a originar polígonos – cerca de 670 – sem informação na união entre os tipos de solo e o uso e ocupação do solo para a atribuição do tipo hidrológico) e não foram retirados estabelecimentos que estejam inseridos em mais do que um ficheiro (por exemplo, um estabelecimento identificado pela Diretiva Seveso III e pela Diretiva CELE está incluído em ambos os ficheiros e foi modelado duas vezes), apesar de serem retirados registos repetidos inseridos no mesmo ficheiro (CELE – 12 registos).

*Tabela 2 - Informação necessária para o modelo de suscetibilidade e modelação da propagação*

<b>Informação</b>	<b>Tipo de Informação</b>	<b>Fonte</b>	<b>Autor</b>	<b>Escala / Resolução</b>
<b>Modelo Digital de Elevação</b>	Matricial	CLMS	Copernicus, EEA	25 metros
<b>Municípios de Portugal</b>	Polígonos	CAOP 2017	DGT	1:25 000
<b>Altimetria</b>	Linhas e pontos	Carta Militar de Portugal	CIGeoE	1:25 000
<b>Rede Hidrográfica</b>	Linhas	Carta Militar de Portugal	CIGeoE	1:25 000
<b>Tipos de Solo</b>	Polígonos	Carta de Solos de Portugal	DGADR	1:25 000
<b>Ocupação do Solo</b>	Polígonos	Carta de Ocupação do Solo 2015 (Nível 5)	DGT	1:25 000
<b>Rede Viária</b>	Linhas	OpenStreetMaps	OSM	N/D <sup>1</sup>
<b>Estabelecimentos Seveso</b>	Pontos	SNIAmb	APA	1:10 000
	Polígonos	-----	Elaboração própria	-----
<b>Estabelecimentos CELE</b>	Pontos	SNIAmb	APA	1:10 000
<b>Estabelecimentos PRTR</b>	Pontos	SNIAmb	APA	1:10 000
<b>World Imagery / World Light Gray Canvas</b>	Fundos para a base cartográfica	ESRI	ESRI, DigitalGlobe, HERE e Garmin	Aproximadamente de 1:591M a 50 cm

<sup>1</sup> Não definido ou não disponível. O OpenStreetMaps não disponibiliza metadados ao público (não contribuintes).



### 3.5 – Modelo espacial de atrito e a suscetibilidade

Para Julião et al. (2009), a suscetibilidade compreende a incidência espacial de um determinado fenómeno por tempo indeterminado, sem integrar períodos de retorno ou probabilidades de ocorrência de um perigo, sendo avaliada utilizando fatores de predisposição para a ocorrência do mesmo. Permite a representação cartográfica da incidência espacial do perigo e constitui ainda uma parte integrante da análise de risco.

Os modelos de atrito são amplamente utilizados em modelações de propagação de fenómenos espaciais cuja deslocação seja alterada através das características dos mesmos e das condições do terreno e/ou atmosféricas. Geralmente é utilizado com o objetivo de observar a propagação de um determinado fenómeno espacial durante um determinado período de tempo, embora possa ser adaptado a outros tipos de modelação, como é o caso deste trabalho, cujo objetivo é obter áreas potencialmente afetadas pelo escoamento superficial de substâncias perigosas em qualquer local do País em caso de acidente, adaptando a acumulação dos valores de atrito à quantidade de substâncias perigosas em fuga.

Mais se acrescenta que a utilização de modelos espaciais de atrito cujo objetivo seja a obtenção de áreas potencialmente afetadas ou suscetíveis (resultado da propagação) e, ao mesmo tempo, a obtenção da suscetibilidade, não é aconselhada, visto que alguns fatores de predisposição à ocorrência de um fenómeno não podem ser integrados devido a conflitos de objetivos, escala ou simplesmente por adicionarem ‘ruído’, complexidade e dificuldade de análise e compreensão do fenómeno em estudo e de todo o sistema. Apesar dos conflitos descritos acima não serem limitados a modelos de atrito e sim a qualquer tipo de modelo espacial, estes vão ser identificados ao longo dos capítulos e subcapítulos seguintes, em conjunto com a metodologia utilizada na criação da cartografia de suscetibilidade e propagação da contaminação de solos.

#### 3.5.1 – Declives

De forma a obter-se a superfície dos declives em graus é necessário, na grande generalidade dos SIG, criar-se primeiro um modelo digital de elevação (MDE). Neste trabalho, recorreu-se a um método de interpolação espacial designado como rede de triângulos irregulares, ou TIN (fig. 6), não só de forma a suavizar e garantir que, na transformação de vetor (curvas de nível e pontos cotados) para matriz (fig. 7), não existam valores anormais e que não existem buracos

na superfície modelada, representados por células sem valor, como para limitar os problemas quando a transformação de vetor para matriz é feita para escalas diferentes.

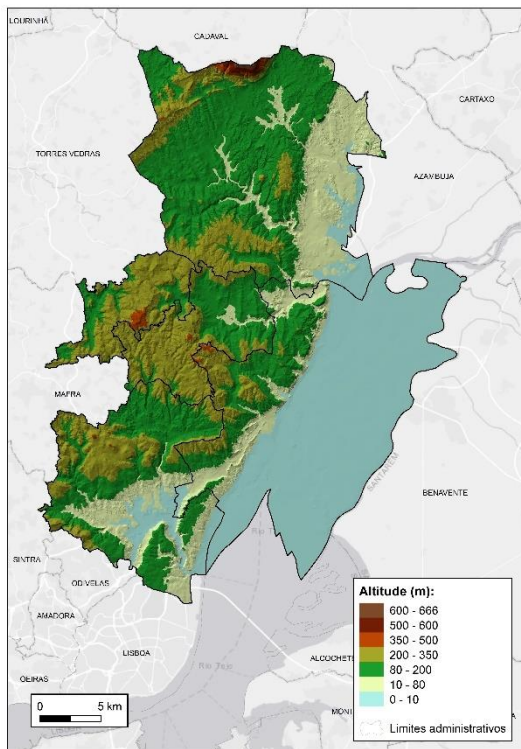


Figura 6 – TIN da área de estudo

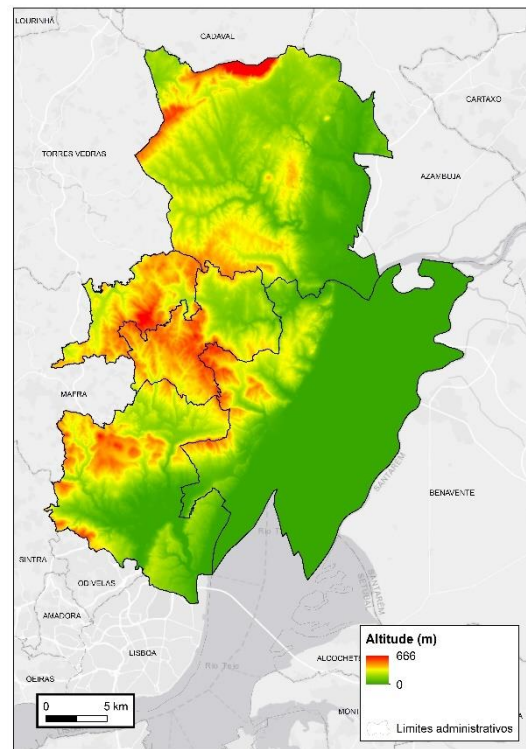
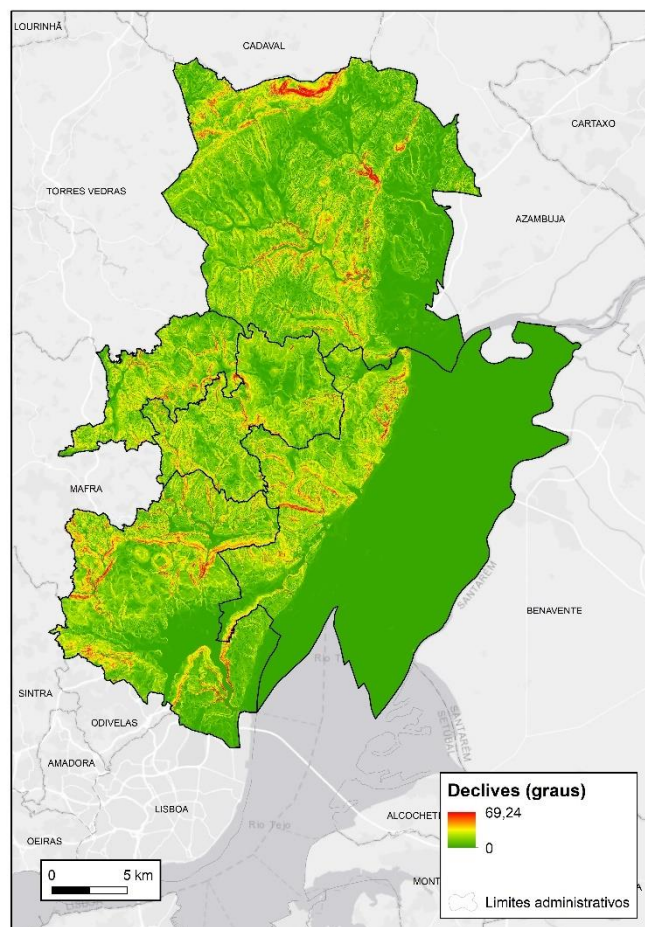


Figura 7 – MDE da área de estudo

Os declives representam o desnível (fig. 8) – ou o grau de inclinação – da topografia e influenciam tanto o fluxo, ou movimento de líquidos (sejam eles à superfície ou em profundidade), como o transporte e deposição de materiais, sejam eles sedimentos, matéria orgânica ou até mesmo substâncias perigosas.

A morfologia do território tem ainda impactos ao nível do microclima que é muitas vezes representado através da diferenciação dos valores de humidade, temperatura, velocidade do vento e precipitação (p.e. nevoeiro, chuvas orográficas, entre outros).



*Figura 8 – Declives (em graus)*

Analisando a figura 9 e sabendo que, para um determinado episódio de precipitação, os valores de escoamento superficial são inversamente proporcionais à infiltração, negligenciando a evapotranspiração (Ward & Trimble, 2003), é possível extrair uma equação da reta que descreva o aumento ou diminuição de escoamento superficial de acordo com o declive do território.

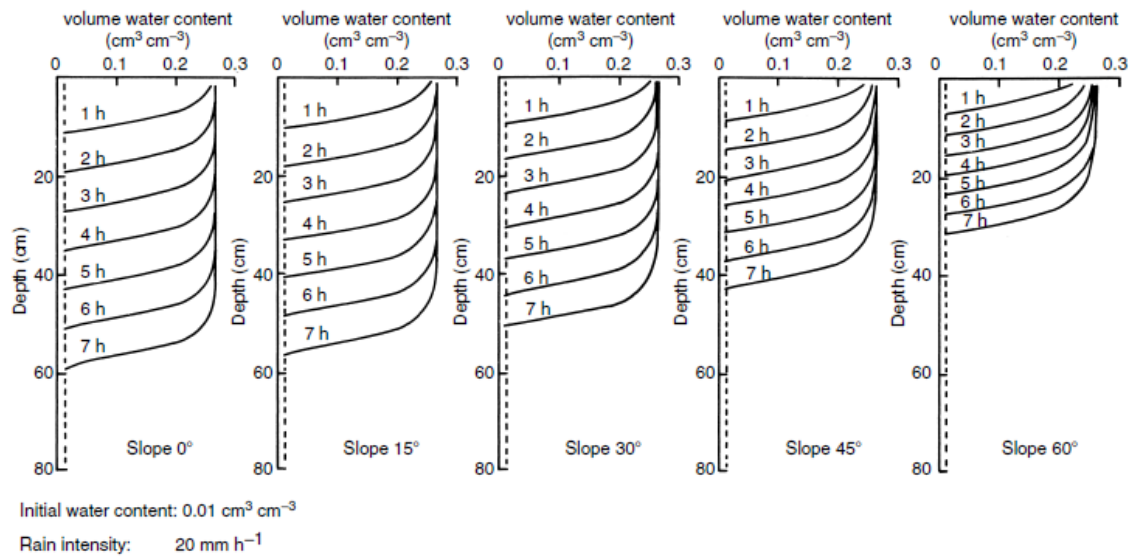


Figura 9 – Infiltração de água em diferentes declives  
Retirado de Miyazaki (2006), pág. 179

Como a infiltração de água é feita principalmente através do gradiente de tensão capilar (forças de ação opostas – coesão e adesão), onde a força da gravidade é negligenciável nos primeiros estágios da infiltração no solo (Miyazaki, 2006), verifica-se que a diminuição da infiltração em relação ao aumento do declive (e, por dedução, o aumento do escoamento superficial) não é feita de forma linear, observando-se uma diferença na distância percorrida pela água no subsolo entre os declives de 0 e 60° e uma diminuição dessa mesma diferença de forma progressiva ao longo do aumento do desnível. Posto isto, é importante mencionar o facto de, apesar de os testes de Miyazaki (2006) terem sido feitos utilizando um solo de textura franco-arenosa e de o número de escoamento (ponto seguinte) englobar a textura dos tipos de solos, utilizou-se a distância percorrida pela água no subsolo para tentar traduzir o comportamento do escoamento superficial em relação ao declive em linguagem matemática para ser introduzido no modelo enquanto variável. Mais se acrescenta que não se procede a uma classificação da variável, visto observar-se uma evolução progressiva do aumento do escoamento superficial em relação ao aumento do declive, utilizando-se assim os valores contínuos – razão pela qual se decidiu recorrer a uma função não-linear na atribuição dos valores de ponderação à variável e não a uma classificação de valores.

Os valores de distância utilizados são os valores inerentes à infiltração após 7 horas, já que é argumentável que estes representam uma espécie de média ponderada da infiltração da água através de solo muito seco (estágios iniciais) e de solo muito humedecido (estágios finais), sob precipitação forte. Como os testes de Miyazaki (2006) só apresentam resultados até um declive de 60°, e conhecendo o comportamento geral da infiltração da água no solo, atribui-se o valor

de ponderação 0 a um declive de 90° - que representa um escoamento superficial total (poderá haver uma infiltração residual através da tensão capilar ou tensão superficial em quantidades negligenciáveis) - e utiliza-se os valores de infiltração ao final de 7h para cada inclinação (presentes na figura 9) como equiparação à velocidade da infiltração da água, obtendo-se assim uma equação da reta para a atribuição dos valores de atrito dos declives de acordo com a escala de ponderação escolhida, sendo o escoamento superficial representado através de uma equação polinomial de 3º grau, apesar de apresentar um comportamento semelhante a um polinómio de 2º grau (fig. 10), ainda que não seja o ideal.

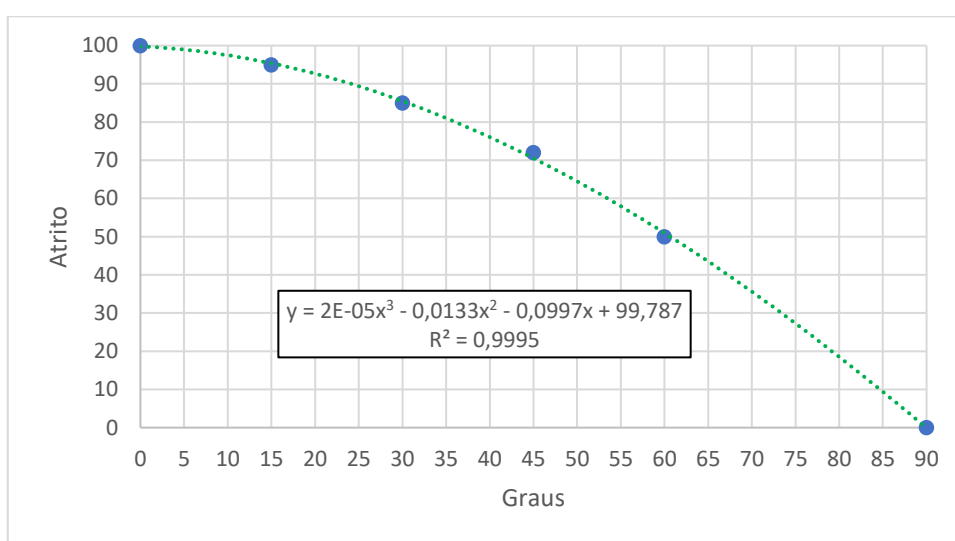
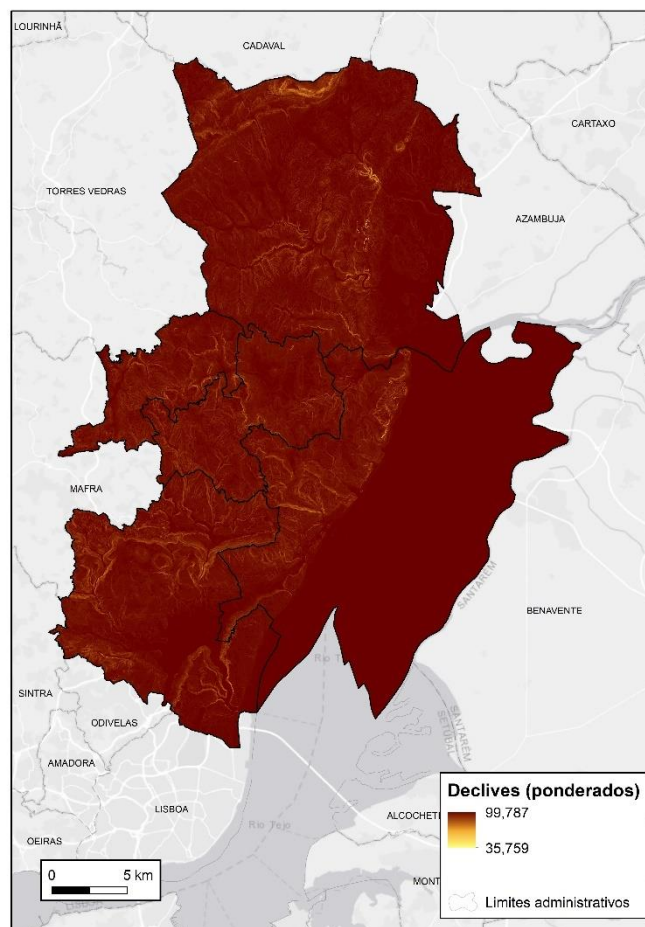


Figura 10 – Equação da reta dos declives

De seguida transformou-se os valores dos declives para a escala de ponderação utilizando a equação da reta que descreve matematicamente o comportamento do escoamento superficial de acordo com os mesmos, obtendo assim a superfície de atrito referente aos declives a ser utilizado na obtenção da superfície de atrito final ou cartografia de suscetibilidade em ambiente SIG (fig.11). A escala de cores utilizada é diferente da utilizada para o atrito e suscetibilidade (verde a vermelho) de forma a que seja visível as disparidades dos valores de atrito na área de estudo.



*Figura 11 – Declives ponderados (atrito)*

### 3.5.2 – Número de escoamento

Segundo Kent (1973) e Soil Conservation Service (1989), o número de escoamento é calculado através do uso e ocupação do solo (fig. 12) e do tipo hidrológico (fig. 13), sendo a sua utilização principalmente limitada a uma duração máxima de precipitação de 24 horas caso a variável seja incluída. Existem várias características implícitas no tipo hidrológico e uso e ocupação do solo que são utilizadas no cálculo do número de escoamento tais como a taxa mínima de infiltração, a textura, o tamanho dos horizontes, entre outros. Existem ainda três números de escoamento diferentes que variam de acordo com o Teor de Humidade Antecedente ( $AMC^2$ ) que representa a saturação dos solos ( $AMC^2$  I – solos secos;  $AMC^2$  II – solos com saturação intermédia;  $AMC^2$  III – solos muito humedecidos ou saturados). Os diferentes valores de acordo com o  $AMC^2$  podem ser consultados em Ward e Trimble (2003) ou Lencastre e Franco (2010).



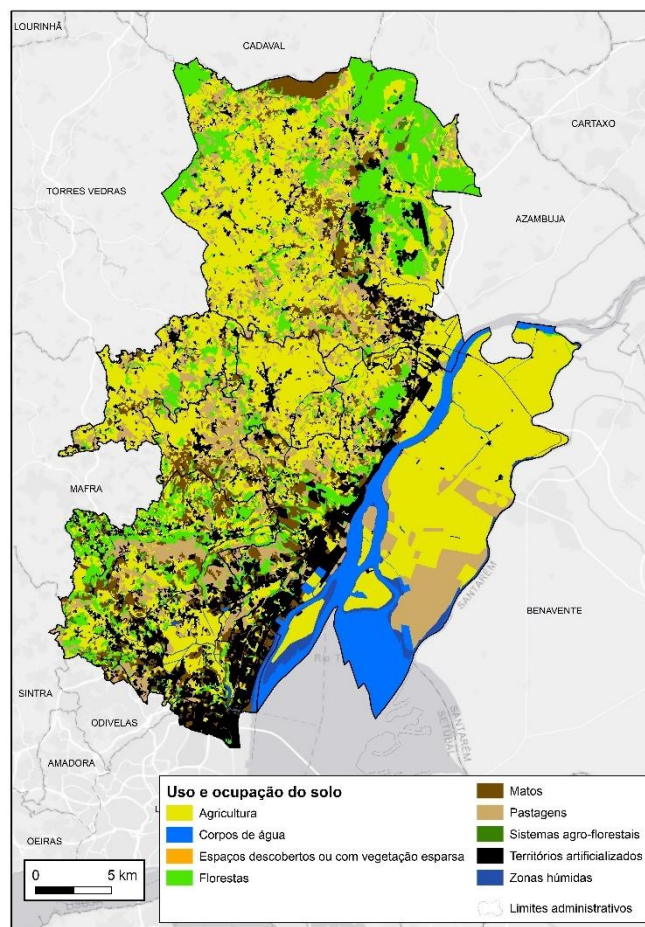


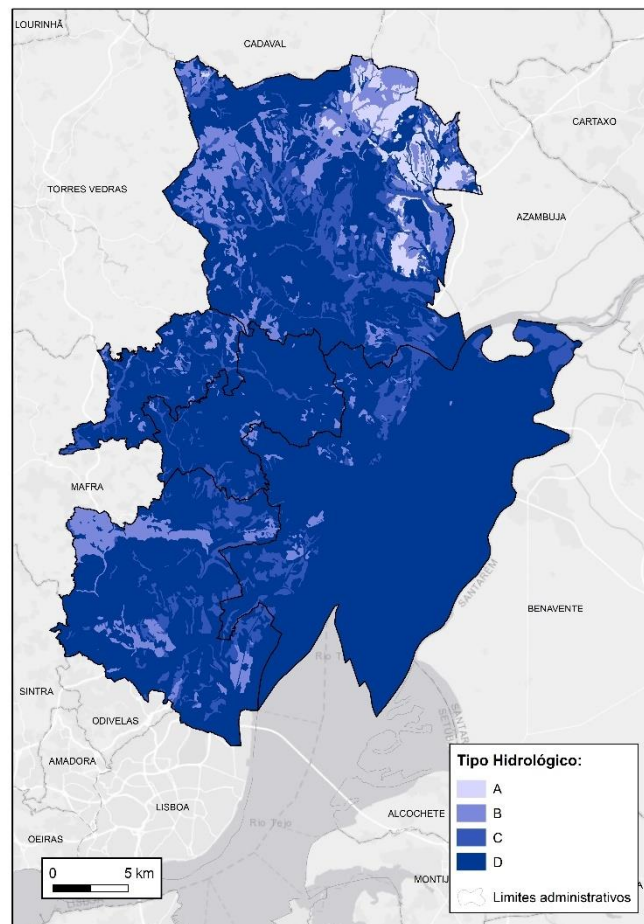
Figura 12 – Uso e Ocupação do Solo (megaclasses)

Fonte: COS 2015, Nível 5

Para Kent (1973), Soil Conservation Service (1989), Oliveira (2004) e Lencastre e Franco (2010), entre muitos outros, existem quatro tipos hidrológicos de solos cuja diferenciação é feita principalmente através da textura e da taxa mínima de infiltração dos solos, quando existente. Como existe um consenso na descrição dos tipos hidrológicos por parte da comunidade científica, eles são então descritos da seguinte forma - adaptado de Lencastre e Franco (2010):

- Tipo hidrológico A: Solos com um potencial de escoamento superficial baixo, apresentando uma elevada capacidade de infiltração mesmo quando saturados, uma textura grosseira (arenosa) com drenagem boa ou excessiva;
- Tipo hidrológico B: Solos com um potencial de escoamento superficial abaixo da média, apresentando uma capacidade de infiltração moderada mesmo quando saturados e são geralmente solos com textura moderadamente grosseira a moderadamente fina (geralmente compostos por areia e/ou silte) com uma drenagem considerada suficiente;

- Tipo hidrológico C: Solos com um potencial de escoamento superficial acima da média, apresentando uma capacidade de infiltração baixa mesmo quando saturados e são geralmente solos com textura moderadamente fina (compostos principalmente por silte) com uma drenagem insuficiente;
- Tipo hidrológico D: Solos com um potencial de escoamento superficial alto, apresentando uma capacidade de infiltração muito baixa mesmo quando saturados e são geralmente solos com textura fina (compostos por argilas) com uma drenagem insuficiente ou deficiente.



*Figura 13 – Tipo hidrológico do solo*

Para Schaetzl e Anderson (2005) e ainda para Lencastre e Franco (2010), compreende-se a textura do solo como o tamanho das partículas e quantidades relativas de argila, silte e areia no solo, sendo as texturas classificadas em três tipos principais, nomeadamente solo argiloso, limoso/siltoso e solo arenoso. Sabe-se ainda que nos casos onde não exista textura dominante, o último nome da classe é a textura dominante sentida através do tato ou em termos visuais



(por exemplo, num solo com uma textura arenosa a franco-arenosa, a classe dominante é franco-arenosa). Na tabela 3 são descritas algumas propriedades gerais da areia, silte e argila.

Tabela 3 – Propriedades gerais da areia, silte e argila

Propriedades	Areia	Silte	Argila
Tamanho dos grãos (mm)	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
Meios de observação	Olho nu	Microscópio ótico	Microscópio eletrónico
Tipo mineral dominante	Primário	Primário e secundário	Maioritariamente secundário
Atração das partículas entre elas	Baixa	Média	Alta
Atração das partículas com a água	Baixa	Média	Alta
Área de superfície	Muito baixa	Baixa a média	Alta a muito alta
Capacidade de retenção de água	Baixa	Média a alta	Alta
Arejamento	Bom	Médio	Fraco
Potencial de compactação	Baixo	Médio	Alto
Resistência a mudanças de pH	Baixa	Média	Alta
Capacidade de retenção de químicos e de nutrientes	Muito baixa	Baixa	Média a alta
Suscetibilidade à erosão eólica	Moderada (especialmente areia fina)	Alta	Baixa
Suscetibilidade à erosão hídrica	Baixa (exceto areia fina)	Alta	Dependente do grau de agregação das partículas
Consistência quando saturado	Solta, arenosa	Suave	Pegajosa, maleável
Consistência quando seco	Muito solta, arenosa	Poeirenta, alguns torrões	Torrões duros (conhecidos por torrões de argila)

*Retirado e traduzido de (Schaetzl & Anderson, 2005), pág 11.*

Neste modelo utilizou-se o número de escoamento da AMC<sup>2</sup> II e foi utilizado o trabalho de Oliveira (2004) tanto na atribuição do tipo hidrológico para os tipos de solos (que estejam identificados pelo autor) (Tabela 1 do Anexo I) como na atribuição do número de escoamento no cruzamento entre o tipo hidrológico e o uso e ocupação do solo (cujas classes foram adaptadas da COS de 1990 – utilizada pelo autor – para a COS de 2015), em conjunto com os valores descritos por Lencastre e Franco (2010) (Tabela 3 do Anexo I). Devido à grande diversidade de tipos de solos presentes na área de estudo, cerca de metade dos tipos de solos não estão integrados na tabela de Oliveira (2004), forçando assim a atribuição dos tipos hidrológicos da seguinte forma (Tabela 2 do Anexo I):

1. Se existir um tipo de solo da mesma família com tipo hidrológico associado, assume-se esse tipo hidrológico (exceto em fase delgada, por recomendação do mesmo, cuja classificação do tipo hidrológico deve avançar uma classe em direção ao tipo D);
2. Caso não se verifique o ponto 1, atribuir um tipo hidrológico de acordo com a textura e drenagem e a sua comparação com capacidade de retenção de água, químicos e nutrientes por textura (características identificadas nas descrições morfológicas presentes na nota explicativa<sup>2</sup> da carta de solos da Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) para alguns tipos de solos e na tabela 2) baseada na descrição adaptada de Lencastre e Franco (2010). Geralmente assume-se: i) para solos com textura argilosa e/ou drenagem insuficiente, o tipo D; ii) solos com textura limosa e/ou drenagem regular ou suficiente, o tipo C; e iii) solos com textura arenosa grosseira ou fina e/ou boa drenagem, o tipo A ou B. Em caso de misturas entre a textura e a drenagem, a atribuição do tipo hidrológico é feita de forma ponderada, iniciando-se sempre pela textura, cuja descrição pode ser observada no diagrama triangular do solo, visto ter maior influência na infiltração por tensão capilar;
3. Caso não se verifiquem os pontos 1 e 2, utilizar a descrição geral do tipo de solo presente na nota explicativa (baseado na constituição geral do solo – presença de argilas, areias ou rochas, entre outros...);
4. Caso não se verifique nenhum dos pontos anteriores, fazer uma associação generalizada do solo à família mais próxima (existem tipo de solos identificados na carta de solos que não estão presentes na nota explicativa, ou por estar desatualizada ou por erros de introdução de texto na própria base de dados dos ficheiros vetoriais).

Visto que os valores mais baixos anexados ao número de escoamento são atribuídos aos solos com baixo potencial de escoamento e que esse baixo potencial deve ser representado

---

<sup>2</sup> <https://www.dgadr.gov.pt/nota-explicativa>

pelos valores mais altos da escala de ponderação de forma a representar a dificuldade de infiltração/deposição e/ou a facilidade de transporte dos respetivos contaminantes, invertem-se os valores.

Depois de atribuídos os tipos hidrológicos e feito o cruzamento com a ocupação do solo, atribui-se o número de escoamento referente ao AMC<sup>2</sup> II (fig. 14) de acordo com o tipo hidrológico e classe de uso e ocupação do solo. Como a carta de solos da DGADR apresenta, em alguns casos, dois ou três tipos diferentes de solos no mesmo polígono, é feita uma média ponderada utilizando as percentagens de cada tipo de solo presentes no polígono e o número de escoamento.

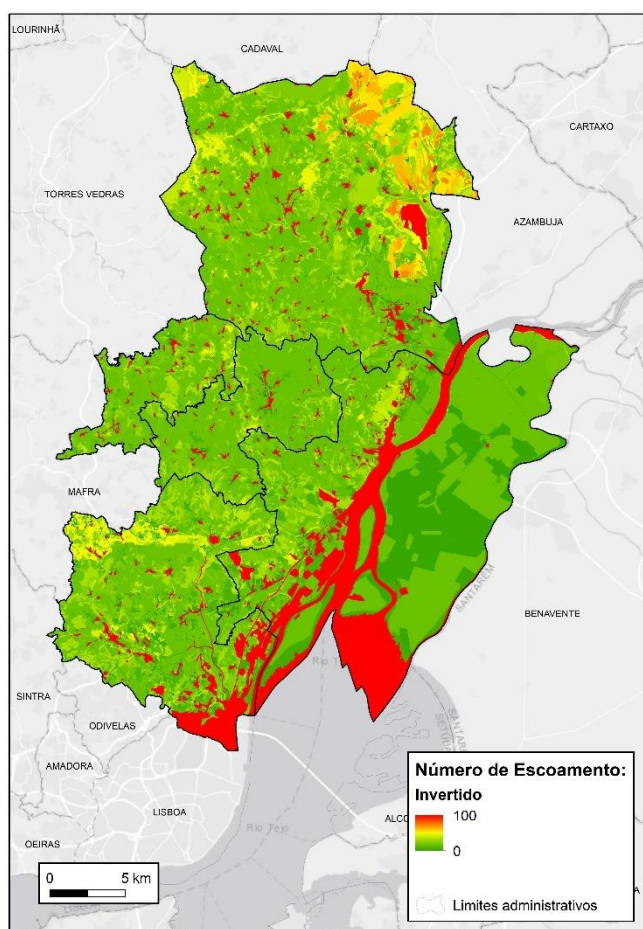


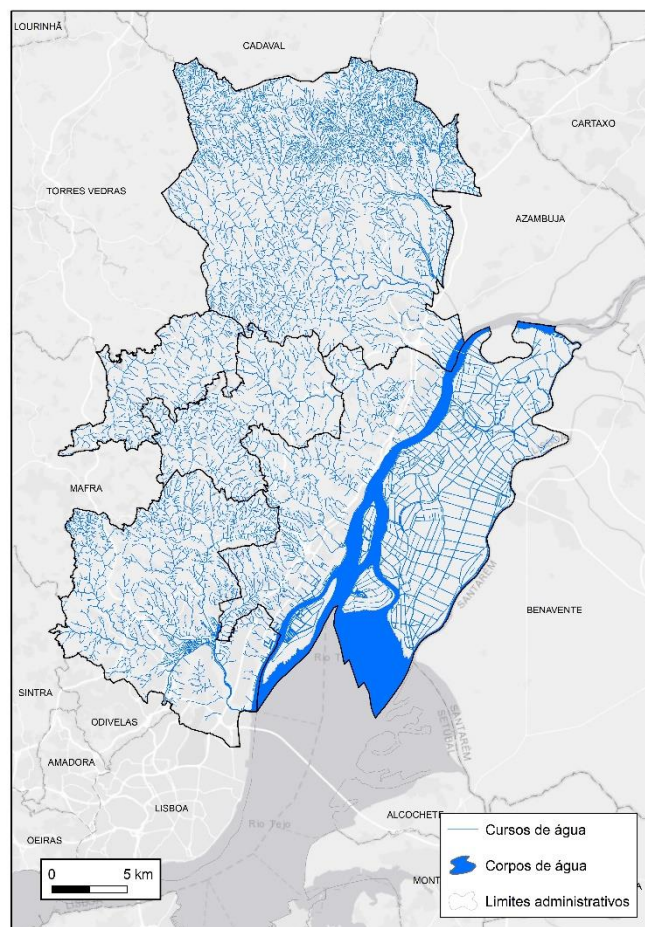
Figura 14 – Número de escoamento inverso

### 3.5.3 – Hidrografia e território artificializado

A rede hidrográfica é geralmente a grande recetora da contaminação e é responsável pelo transporte dessas substâncias pelo território, não sendo as áreas permanentemente imersas compostas por solos, mas sim por sedimentos. Por essa razão, e como a área de estudo engloba

o rio Tejo e o início da Lezíria aliado ao facto de ocuparem uma área conjunta relevante, o rio não pode apresentar suscetibilidade, sendo assim representado à parte. Já os cursos de água, ainda que alguns deles estejam permanentemente imersos, por motivos de generalização, de visualização e de simplificação, apresentam suscetibilidade.

A rede hidrográfica (fig. 15), quando aplicada à modelação da propagação da contaminação dos solos, representa uma das duas restrições implementadas ao modelo por duas razões principais: o facto da rede hidrográfica identificar sempre os fundos de vale, impedindo a contaminação de continuar a sua propagação para o outro lado da vertente (cuja progressão é fisicamente impossível por escoamento superficial devido à gravidade); e por ser o principal recetor da contaminação, sendo argumentável, na temática da contaminação de solos, a contaminação das margens dos cursos e corpos de água. É importante ter em consideração que apenas se utilizou os cursos de água enquanto restrição e o perímetro do rio Tejo, retirados da Carta Militar de Portugal e não todo o corpo de água identificado pela COS ou pela Carta de Solos, cuja classe é denominada por área social, tendo um número de escoamento e tipo hidrológico associado.



*Figura 15 – Rede hidrográfica*

*Fonte: Carta Militar de Portugal*

Relativamente ao território artificializado, apesar de apresentar suscetibilidade de contaminação, é também representado à parte (serão apresentados dois mapas no ponto seguinte com e sem a presença do território artificializado). A escolha da sua representação advém da característica dos solos artificializados que são, na sua generalidade, solos compactados, impermeabilizados e/ou ocupados por edifícios e/ou equipamentos, apresentando ainda uma rede de drenagem artificial em quase todo esse território que direciona a maioria do escoamento diretamente para a rede hidrográfica ou estações de tratamento mais próximas. Já a escolha de não representar o território artificializado sobreposto à suscetibilidade advém da necessidade de algum discernimento nas análises desta parte do território, já que a megaclassa dos territórios artificializados, apesar das características do solo onde ela se insere, engloba, por exemplo, as áreas de lazer ou elementos expostos/sensíveis – hospitais, quartéis de bombeiros, entre outros – e as áreas industriais (ou, por outras palavras, engloba as possíveis fontes de contaminação e locais de importância estratégica, especialmente em cenários de emergência), para além do facto do solo não ser invulnerável à contaminação,

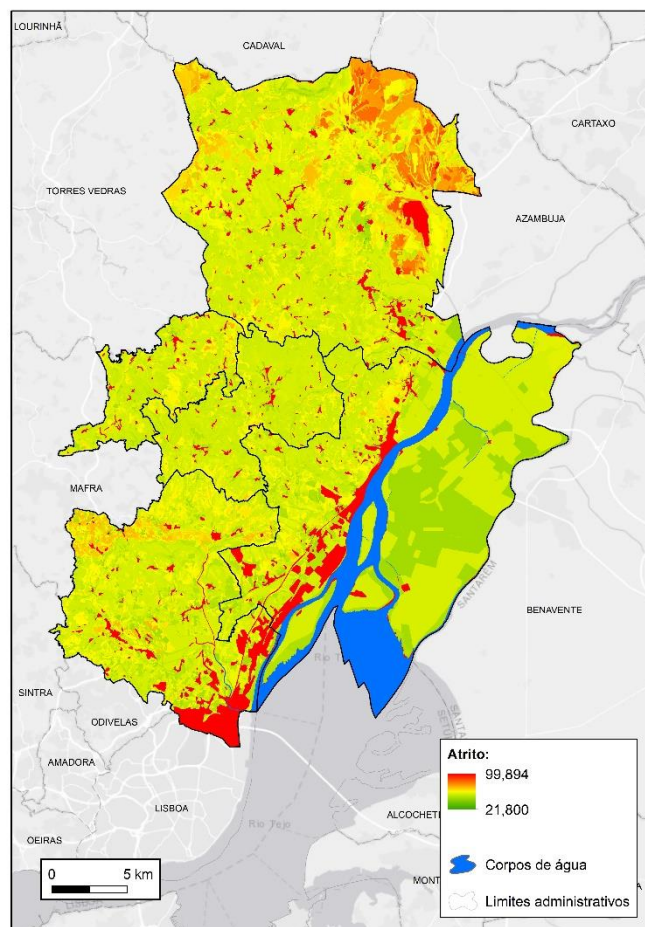
por maior e mais densa que seja a rede de drenagem do território artificializado. Posto isto, a identificação do mesmo pode ser considerada como opcional, já que por um lado a contaminação dos solos dos territórios artificializados é inevitável (e por apresentar um número de escoamento de 98, independentemente do tipo hidrológico, o que efetivamente comprova a possibilidade de contaminação e a existência de suscetibilidade) mas, por outro, integra grande parte das fontes de contaminação antrópicas.

#### 3.5.4 – Atrito e Suscetibilidade

Apesar de existirem vários métodos matemáticos, tais como a programação linear e não linear ou simulação de sistemas dinâmicos (Rocha, 2012) e regressões (Longley et al., 2015), para a identificação da correlação e/ou relevância de fatores/variáveis, todos eles dependem da existência prévia de uma variável dependente. Sendo necessário um método matemático que permita a análise de um fenómeno que não possa (neste caso o problema reside na não existência de informação de fontes oficiais ou fidedignas relativas a locais contaminados, muito menos georreferenciados e com uma amostragem representativa) ser representado através dos modelos matemáticos previamente descritos, recorreu-se à AMC<sup>1</sup>, apesar de existirem outros métodos, como por exemplo a análise fatorial ou análise de componentes principais. A AMC<sup>1</sup> inclui-se na análise espacial e define-se como um conjunto de técnicas, ferramentas e/ou métodos capazes de analisar fenómenos espaciais que dependam da organização espacial de várias variáveis de acordo com vários objetivos (Malczewski, 1999, 2000, 2006; Lloyd, 2010; Longley et al. 2015), sem a necessidade de uma variável dependente.

O método principal da AMC utilizado neste trabalho foi a CLP. Segundo Malczewski (2000), a combinação ponderada linear baseia-se na ponderação de atributos e de fatores, onde cada fator tem de ser quantitativo e compreensível, no sentido em que é possível quantificar a importância e de perceber a relação entre o mesmo e o objetivo do estudo e/ou modelo. Como apenas são utilizadas, efetivamente, duas variáveis neste modelo (embora o número de escoamento seja bastante complexo, não só por integrar o tipo e o uso e ocupação do solo como também por possibilitar a criação de diferentes cenários ao ser utilizado diferentes tipos de saturação dos solos), a utilização da CLP é bastante simples e direta, não havendo necessidade de se recorrer a outros métodos intermédios para a atribuição de pesos às variáveis, tais como o processo analítico hierárquico (PAH). Assim, o cálculo do atrito final (fig. 16) é feito através da junção de ambas as variáveis com pesos iguais, ou seja:

$$0.5 * \text{Declives ponderados} + 0.5 * \text{Média ponderada do número de escoamento}$$



*Figura 16 – Atrito final*

Para a definição da suscetibilidade, dividiu-se a escala de ponderação utilizada em 5 classes equidistantes (tabela 4). Não se utilizou os valores mínimos e máximos de atrito obtidos na área de estudo para que a divisão das classes de suscetibilidade seja homogénea para qualquer área de estudo.

*Tabela 4 – Classes de suscetibilidade*

Valores de atrito	Classes de suscetibilidade
[ 0 – 20 [	Muito baixa
[ 20 – 40 [	Baixa
[ 40 – 60 [	Moderada
[ 60 – 80 [	Elevada
[ 80 – 100 ]	Muito elevada

Como mencionado no ponto anterior, as áreas permanentemente imersas não apresentam suscetibilidade de contaminação de solos – neste caso o rio Tejo (fig. 17) – e o território



artificializado, sendo opcional, também poderá, ou não, apresentar suscetibilidade (fig. 18). A figura 19 representa o processo de criação do modelo de suscetibilidade em ambiente SIG.

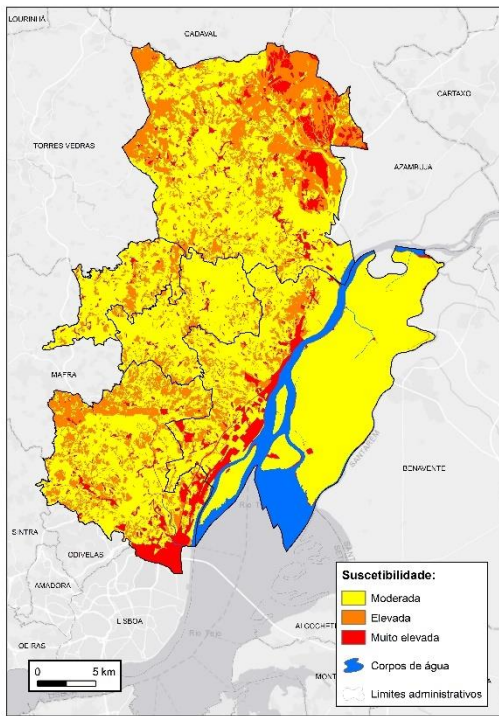


Figura 17 – Suscetibilidade (sem território artificializado)

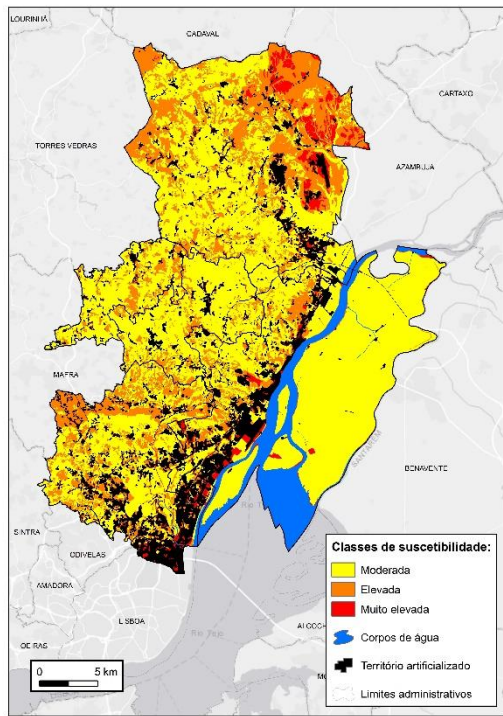
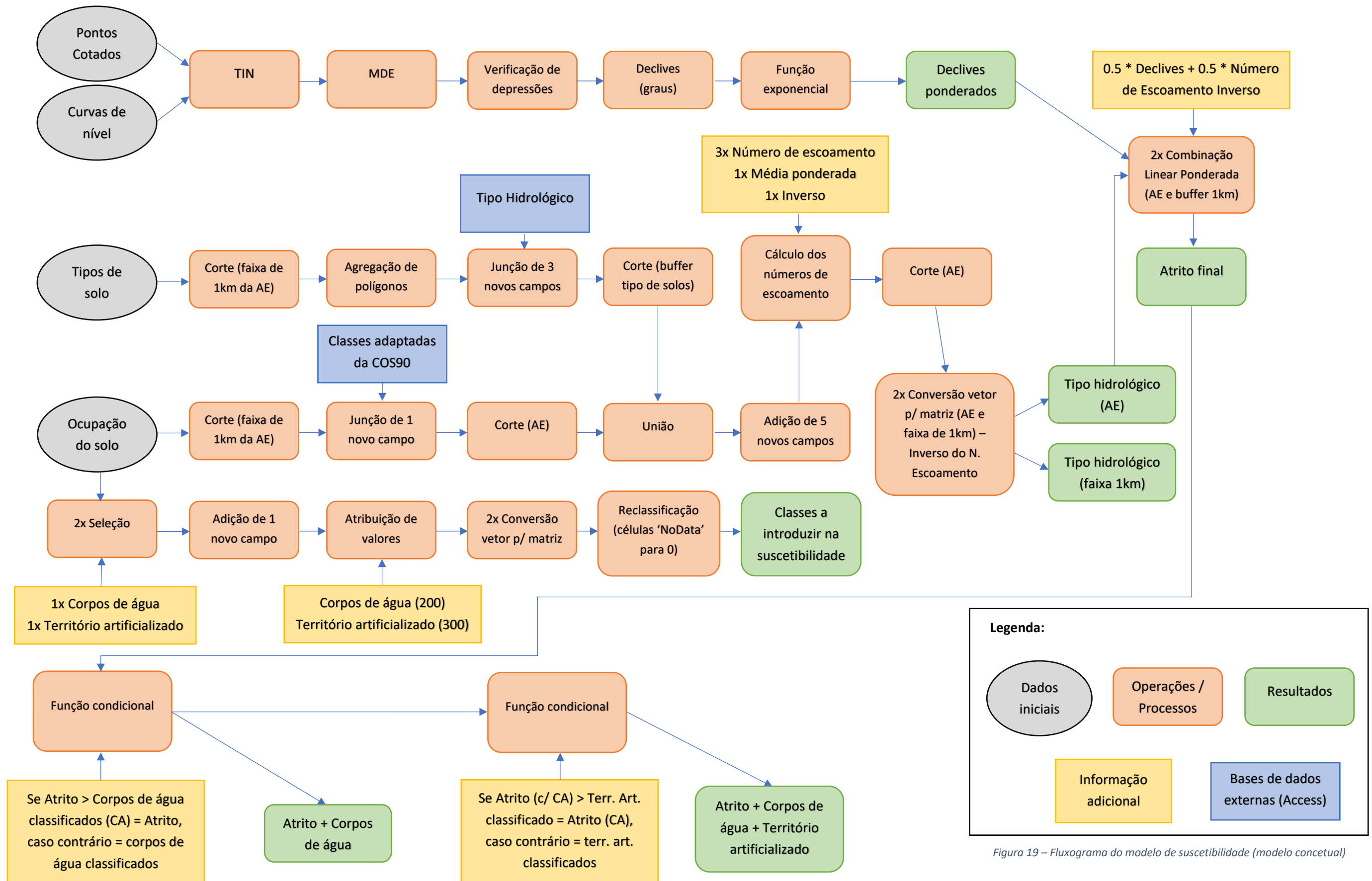


Figura 18 – Suscetibilidade (com território artificializado)





### 3.6 – Modelação da propagação e identificação de fontes e restrições

Utilizando os estabelecimentos identificados pela APA que se enquadram no quadro legislativo nacional descritos no capítulo 2 do presente relatório, os troços geralmente mais importantes da rede viária, algumas classes da COS 2015 que representem áreas onde se efetuem atividades potencialmente poluentes, sejam elas industriais, comerciais ou de transporte e a superfície de atrito final correspondente à suscetibilidade, é possível proceder-se à modelação da propagação da contaminação ou, por outras palavras, é possível obter-se as áreas potencialmente afetadas por descargas intencionais ou acidentais de substâncias perigosas para o ambiente.

As fontes de contaminação potenciais estão representadas pelos três tipos de informação vetorial (pontos, linhas e polígonos), sendo necessário recorrer-se a diferentes métodos de aplicação das restrições. Fez-se ainda uma distinção da aplicação de restrições e a modelação da propagação utilizando os vários tipos de informação vetorial agregados (conjuntos de pontos, linhas ou polígonos) e individuais (um registo de cada vez).

A modelação da suscetibilidade com a faixa de um quilómetro para além dos limites administrativos que definem a área de estudo é extremamente importante para alguns pontos deste capítulo, visto que a presença de polígonos retirados da COS ou de troços da rede viária nas imediações dos limites administrativos têm impacto nas áreas potencialmente afetadas dentro da área de estudo, já que os fenómenos espaciais não são contidos por limites administrativos definidos pelo ser humano.

Os tipos de restrições implementadas a todos os tipos de informação vetorial são as mesmas, alternando apenas o método de implementação necessário. As restrições referem-se à altitude, visto que a propagação por escoamento superficial nunca se efetua para montante de uma bacia ou em direção ao interflúvio de um vale devido à gravidade, e à rede hidrográfica, cujo objetivo da sua implementação enquanto restrição (apesar de ser um dos recetores principais de contaminantes e de ser responsável pela sua disseminação pelos corpos de água à superfície e em profundidade) é o de representar fundos de vale com o intuito de impedir a transposição dos contaminantes para o outro lado das vertentes cujas leis da física também não o permitem.

As áreas potencialmente afetadas foram obtidas através de distâncias-custo com valores cumulativos de atrito diferentes cuja variação é definida pelo tipo de fonte de contaminação a que essas áreas estão anexadas e pela possível quantidade de substâncias perigosas libertadas intencional ou acidentalmente. Os valores cumulativos também não representam valores de

referência, mas sim valores de teste, já que é necessária uma adaptação ou alteração do valor cumulativo máximo em relação à quantidade de substâncias perigosas libertadas. Já na implementação das restrições, também poderá ser necessária uma adaptação dos tamanhos das janelas de vizinhança pelas quais se efetuam os cálculos das médias de altitude. Os efeitos e as respetivas necessidades destas alterações serão explicados em pormenor nos subcapítulos seguintes, onde são aplicados e onde se descreve o comportamento do modelo em termos de propagação em relação aos aumentos e diminuições, tanto do valor cumulativo de atrito como do tamanho das janelas de vizinhança.

Por último, a propagação da contaminação é modelada pelo SIG utilizando os valores cumulativos máximos de atrito definidos para cada tipo de fonte utilizada. O somatório dos valores de atrito é feito através de análises de vizinhança e utiliza o tamanho da célula e o valor de atrito que lhe é associada como valor de resistência (por exemplo, célula de 10 metros com valor de atrito 95 tem um valor de atrito final associado, na propagação da contaminação, de 950).

### 3.6.1 – Fontes representadas por pontos e aplicação das restrições

As fontes representadas por pontos utilizadas nesta modelação são todos os estabelecimentos identificados pela Diretiva Seveso (9), pela Diretiva CELE (12) e pelo Protocolo PRTR (35), cujas localizações se encontram representadas na figura 20. Como mencionado ao longo do capítulo 2, os estabelecimentos identificados pela Diretiva CELE e pelo Protocolo PRTR são utilizados não só como amostra de forma a testar o modelo, mas também como locais potencialmente contaminantes, partindo do pressuposto que existe a necessidade de armazenamento, deposição e/ou transporte das substâncias. É de notar que, tendo em conta o objetivo de identificação das limitações dos dados/modelo, os pontos não representam nem o centróide da área referente ao estabelecimento (que nem sempre é o mais correto de se utilizar para se representar uma área) nem o centro ou instalações dentro do próprio estabelecimento que armazenem, processem ou transportem essas substâncias, mas sim a sua entrada ou principal acesso. Na sua totalidade, foram utilizados 56 pontos distintos dispersos pela área de estudo para a modelação da propagação, não se observando, consoante a amostragem escolhida e recolhida, estabelecimentos no município de Sobral de Monte Agraço.

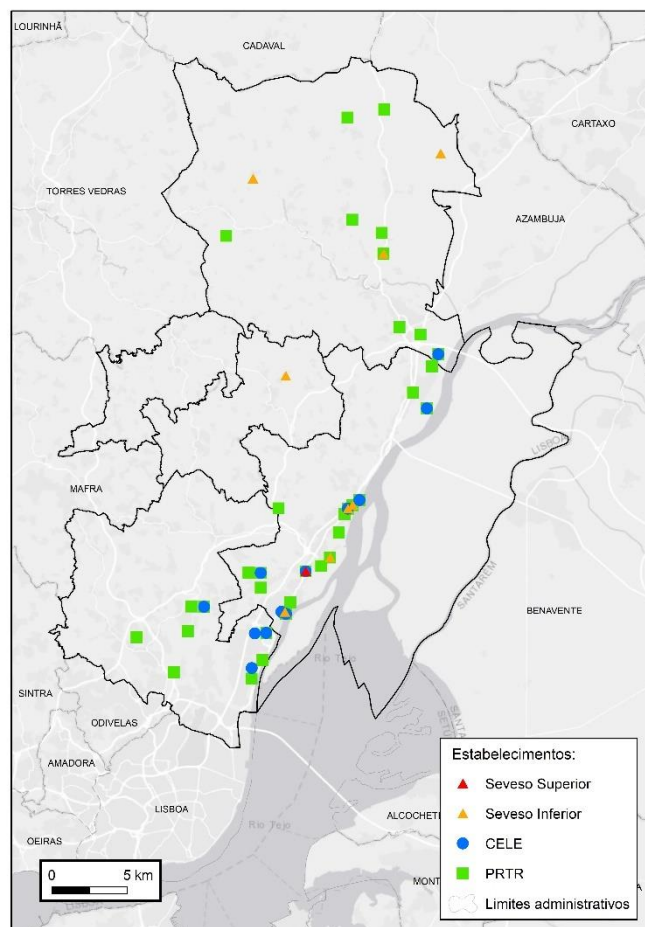


Figura 20 – Localização dos estabelecimentos potencialmente contaminantes representados por pontos

Na aplicação das restrições, adquiriu-se o valor de altitude referente a cada ponto diretamente do MDE, transformou-se em valor inteiro (em Python, a transformação de valores decimais em valores inteiros é feita em direção ao menor valor inteiro – por exemplo, um valor de 9,7 é arredondado para 9) e somou-se três metros de forma a que, nos piores casos, exista sempre um valor mínimo de segurança de dois metros entre a altitude do ponto e a superfície de elevação. A necessidade de se anexar esse valor mínimo de segurança advém de alguns problemas de modelação da propagação, tanto em áreas planas como declivosas utilizando superfícies interpoladas como base, como é o caso do MDE, onde a criação de depressões virtuais causadas pelos métodos de interpolação, ainda que mínimas e negligenciáveis, são problemáticas, já que a área envolvente (mesmo que sejam apenas as células vizinhas) é integrada na restrição pela função condicional e impede a propagação da contaminação. A sobreposição da célula relativa à fonte de contaminação pontual pela restrição da mesma também foi outro problema encontrado que levou à aplicação da soma dessa ‘altitude de segurança’, pois aquando da modelação da propagação, os resultados eram nulos. Embora o

valor de segurança escolhido seja pelo menos dois metros (decidido também através de tentativa e erro – processo iterativo), a alteração de escala (e do consequente tamanho das células de trabalho) deve ser tida em consideração em qualquer alteração que se venha a efetuar devido às generalizações de informação anexada a cada escala. Já no caso da hidrografia, a sua integração é feita de forma simples com o intuito de, como já mencionado, impedir a progressão da contaminação ao agir como recetor/barreira natural à progressão do escoamento superficial no solo.

#### 3.6.1.1 – Seveso

Na área de estudo existe apenas um estabelecimento classificado como Seveso Superior que se encontra na margem direita do rio Tejo numa área plana, do município de Vila Franca de Xira. Para se representar a área potencialmente contaminada ou afetada, utilizou-se um valor cumulativo máximo de atrito de 50 000 visto ser o tipo de estabelecimento que é, garantidamente, o mais perigoso em cenário de acidente industrial utilizado neste trabalho (fig. 21.a). O valor cumulativo máximo pode, e deve ser alterado caso exista informação sobre as quantidades de substâncias perigosas presentes no estabelecimento, isto é, não é um valor fixo, mas sim um valor que, tal como quase todos os valores utilizados neste modelo, deve ser alterado e /ou adaptado de acordo com as necessidades de modelação.

Relativamente aos estabelecimentos classificados como Seveso Inferior, existem oito na área de estudo, sendo que metade deles se localizam também na margem direita do rio Tejo, no município de Vila Franca de Xira. Os municípios de Loures e Sobral de Monte Agraço não apresentam indústrias Seveso, estando três dos oitos estabelecimentos integrados no município de Alenquer e um no município de Arruda dos Vinhos. Os estabelecimentos localizados na margem direita do rio Tejo encontram-se todos em áreas planas. Já os estabelecimentos em Alenquer e Arruda dos Vinhos situam-se em, ou perto de, áreas declivosas. Como estes estabelecimentos também são, garantidamente, perigosos em cenário de acidente industrial e como se encontram na classe inferior, utilizou-se um valor cumulativo máximo de atrito de 25 000 (figs. 21.b; 21.c; 21.d; 21.e e 21.f).

Há ainda que ter especial cuidado na modelação da propagação utilizando estabelecimentos vizinhos que se insiram dentro das áreas de potencialmente afetadas uns dos outros, denominados pela APA como estabelecimentos pertencentes ao grupo de efeito dominó. Aqui, observa-se a importância de trabalhar cada estabelecimento de forma singular e não de forma generalizada (vários, ou todos os pontos de uma vez), visto que as diferentes altitudes anexadas

a cada ponto, mesmo utilizando janelas de vizinhança (em vez de se aplicar a restrição de altitude à área de estudo toda, aplicar-se apenas à área potencialmente afetada, como é necessário para as linhas e polígonos), causam problemas de sobreposição de áreas de restrição, principalmente quanto maior for o potencial alcance dos contaminantes em caso de acidentes industriais ou a densidade de estabelecimentos no território.

A sobreposição de restrições é visível na figura 21.f, onde a área restrita 1 sobrepõe-se a um dos estabelecimentos (a área potencialmente afetada respetiva a esse estabelecimento está representada por cima dessa mesma área restrita), cuja modelação da propagação seria impossível caso não fosse feita registo a registo, ou limitada em termos de valor cumulativo máximo de atrito. Já as figuras 21.d e 21.e observam uma cobertura total da área disponível à propagação da contaminação, limitada pela presença de áreas de restrição.

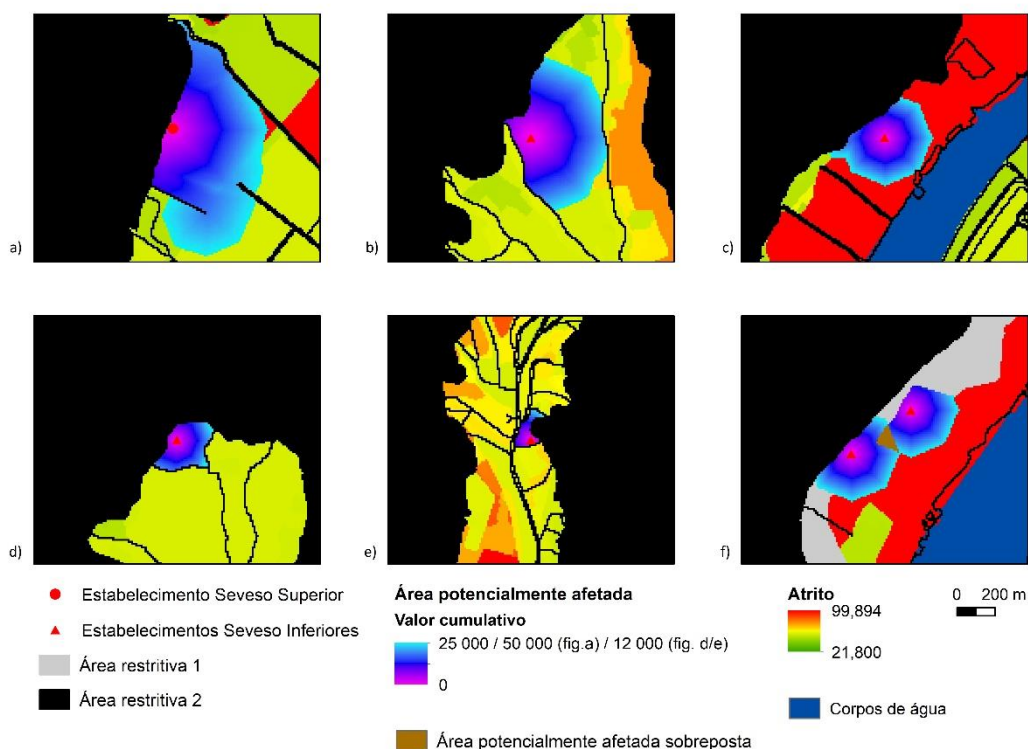


Figura 21 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos Seveso representados por pontos

### 3.6.1.2 – CELE

Os estabelecimentos incluídos na diretiva CELE localizam-se quase todos também na margem direita do rio Tejo e estão inseridos em áreas relativamente planas. Na modelação da propagação foi utilizado um valor cumulativo de atrito de 10 000 pela falta de informação relativa a este tipo de estabelecimentos e pela incerteza, tanto do seu tamanho, como da

utilização, armazenamento ou transporte de substâncias perigosas. Em todo o caso, a modelação da propagação apresenta os mesmos problemas da Seveso, apesar de serem em menor gravidade, já que o valor cumulativo máximo de atrito, e por consequência a área potencialmente afetada, é menor, reduzindo o número de conflitos provenientes de sobreposições de áreas potencialmente afetadas e das áreas de restrição, caso a atribuição da restrição de altitude fosse feita da mesma forma como é nas linhas e polígonos. A figura 22 apresenta os resultados da modelação da propagação da contaminação de solos de seis estabelecimentos CELE.

Em conjunto com a figura 21.a, na figura 22.d é possível observar outra das limitações do modelo, nomeadamente o facto de, devido ao valor cumulativo máximo escolhido, existir um claro contorno da propagação da contaminação de solos às áreas restritas. Este problema torna-se bastante evidente na rede viária.

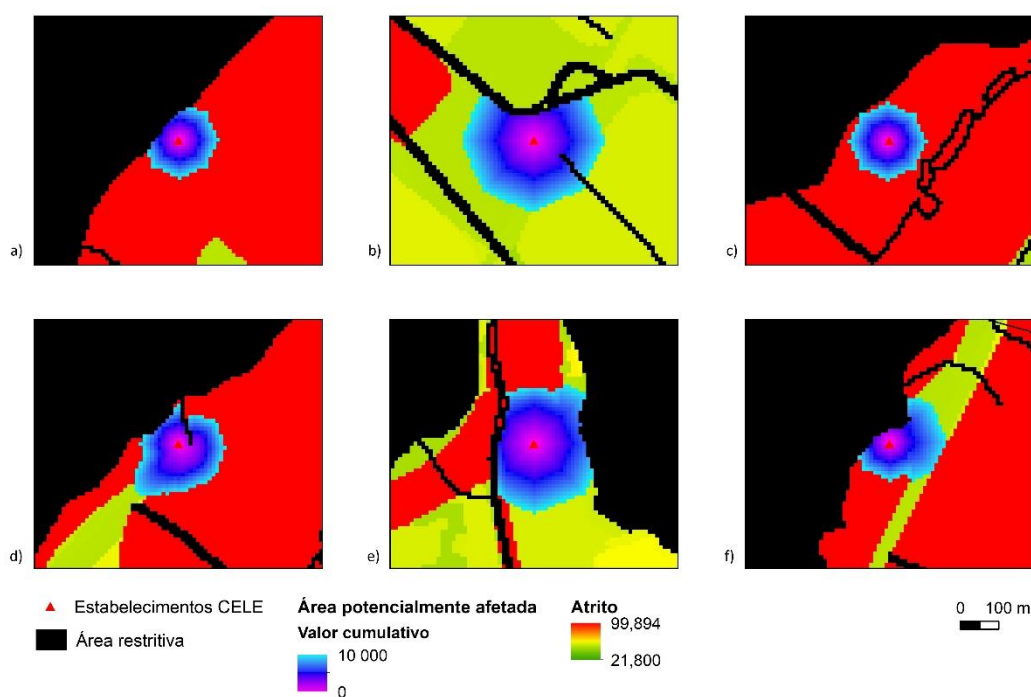


Figura 22 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos CELE representados por pontos

### 3.6.1.3 – PRTR

Os estabelecimentos incluídos no protocolo PRTR estão dispersos pela área de estudo, exceto no município de Sobral de Monte Agraço, existindo, novamente, uma grande densidade de estabelecimentos na margem direita do rio Tejo. Foi utilizado um valor cumulativo de atrito de 10 000 pelas mesmas razões enunciadas no ponto anterior, apesar de se saber que são



responsáveis pelo transporte de algumas substâncias. A figura 23 apresenta também resultados da propagação da contaminação de solos de seis estabelecimentos PRTR.

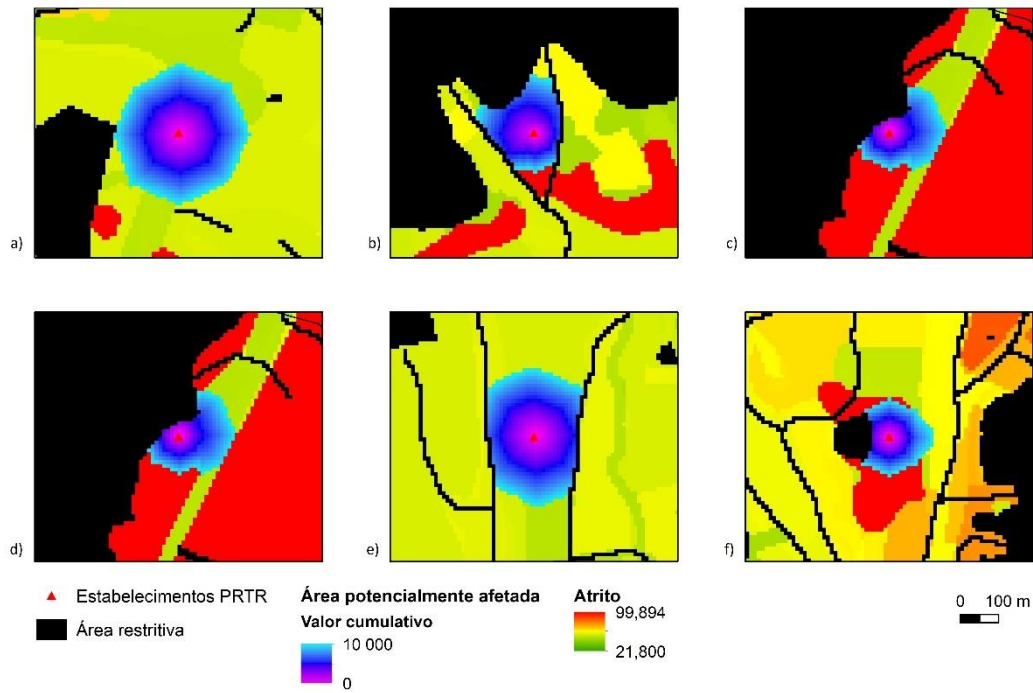


Figura 23 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos PRTR representados por pontos

A figura 24 representa o processo de modelação da propagação da contaminação de solos e da aplicação das respetivas restrições em ambiente SIG.



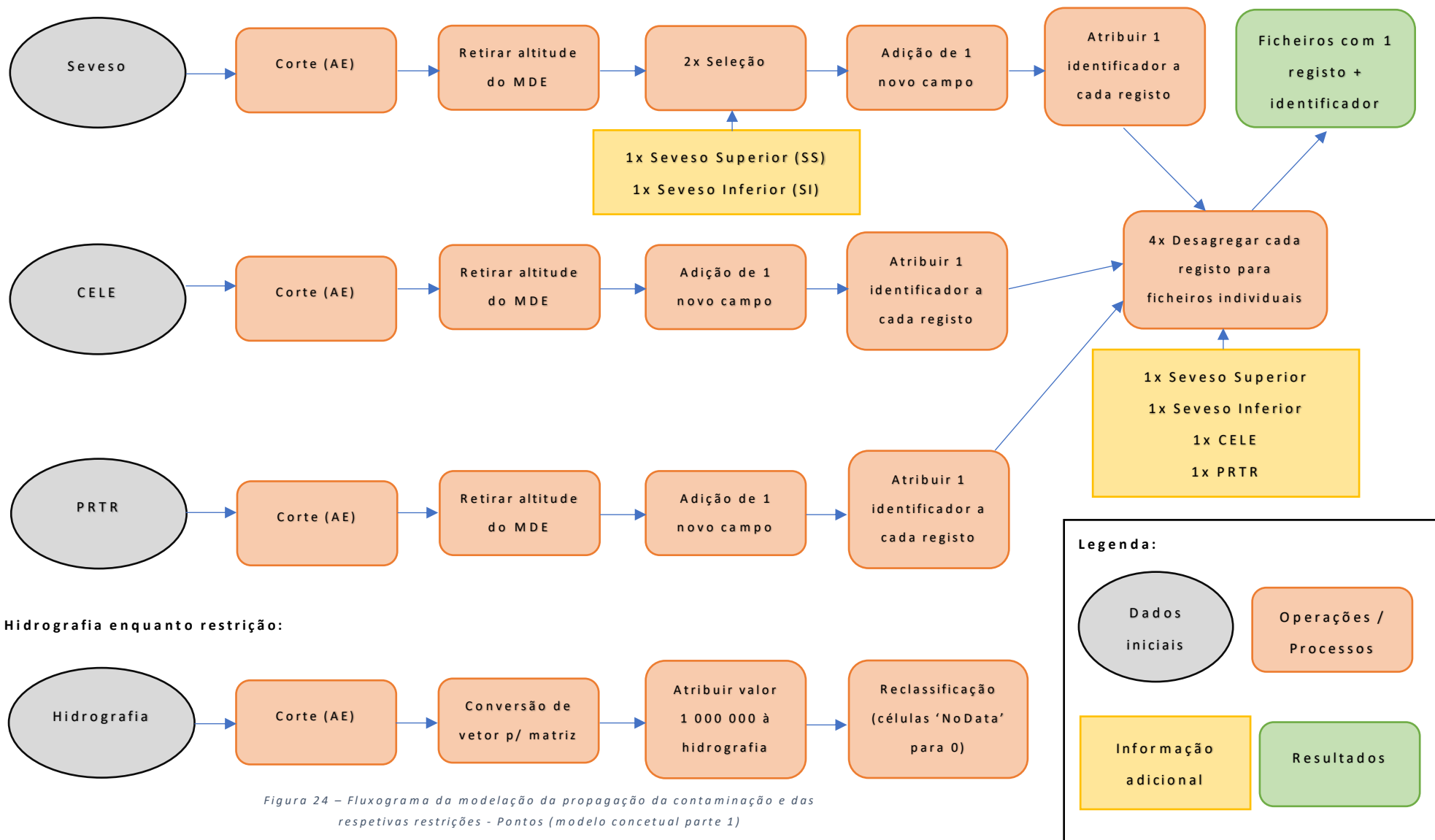


Figura 24 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respectivas restrições - Pontos (modelo concetual parte 1)

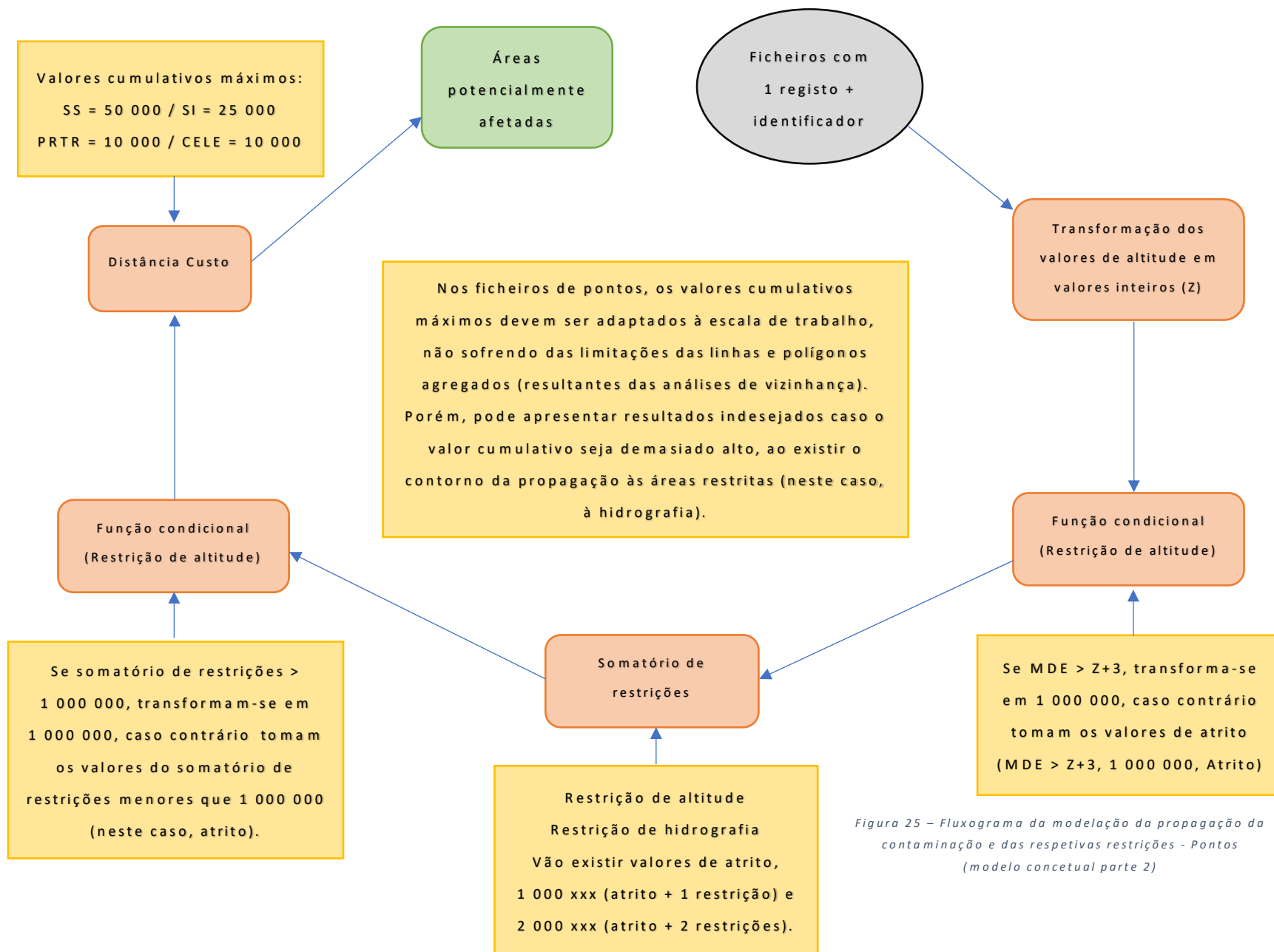


Figura 25 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Pontos (modelo concetual parte 2)

### 3.6.2 – Fontes representadas por linhas e aplicação das restrições

A principal fonte de contaminação representada por linhas é a rede viária que, segundo Jorge (1998), Omar (2004) e Wilson et al. (2005) – *in* Krishna e Govil (2007), e Pérez e Eugenio (2018), é responsável pela contaminação dos solos num raio de 10 a 100 metros. A contaminação desses solos é feita através dos três tipos de emissões de poluentes (gasosas – metais pesados –, efluentes líquidos – maioritariamente óleos ou hidrocarbonetos provenientes de combustíveis fósseis –, e resíduos sólidos – maioritariamente borracha de pneus).

Pela natureza do tipo de informação vetorial, pelo facto de se integrar a rede viária como um todo e não por troços e pelo facto de não se poder retirar valores de altitude para um ponto específico, a metodologia utilizada para a implementação da restrição da altitude teve de ser alterada e foi um dos principais problemas e dificuldades encontradas na modelação da propagação.

É importante mencionar que, em caso de acidente envolvendo o transporte de substâncias perigosas, é possível localizar-se essa ocorrência através de um ponto, o que permite também uma modelação da propagação de forma mais simplificada, com menos limitações e com maior adaptabilidade e versatilidade. Para além disso, apesar das linhas que representem pontes não poderem apresentar modelação da propagação visto não estarem contacto direto com o solo e de estarem devidamente identificados nos atributos da rede viária do OSM, foram incluídos na rede viária (existem sistemas de drenagem que encaminham o escoamento das águas diretamente para o solo debaixo das pontes) para observar potenciais limitações do modelo. Posto isto, é necessária alguma atenção na análise dos resultados pelo simples facto dos troços referentes a pontes apresentarem os valores de altitude do terreno onde se inserem e não a altitude a que estão construídas. Por outras palavras, a propagação da contaminação nesses troços deve ser encarada como um problema a resolver em modelos locais ou modelos específicos e apenas como um problema de generalização à escala deste trabalho devido, maioritariamente, aos sistemas de drenagem de cada ponte e para onde direcionam o escoamento. Isto também pode ser extensível a túneis.

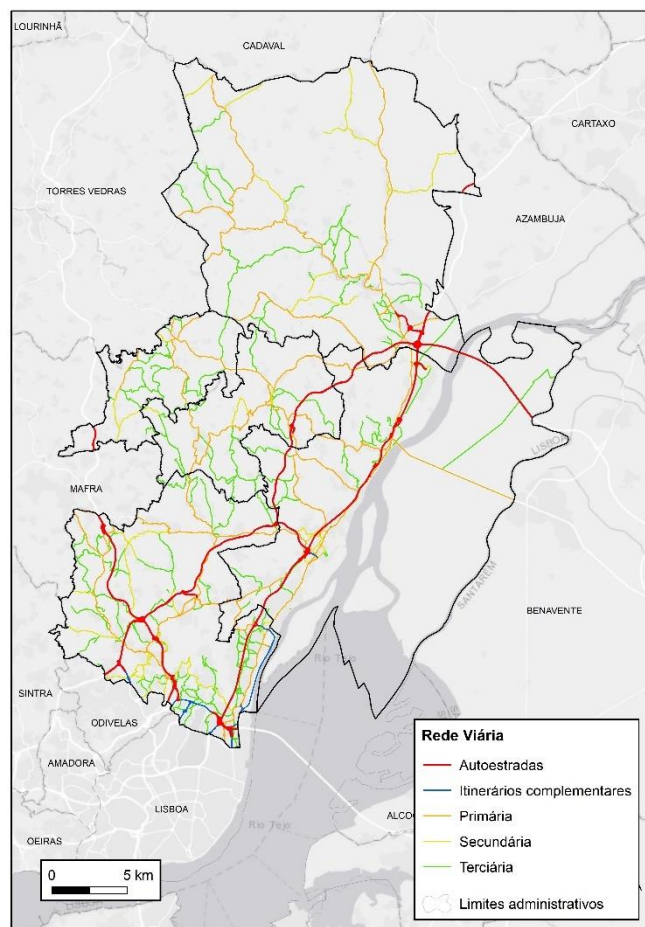
Para a implementação da restrição de altitude utilizou-se análises de vizinhança. Através de janelas de vizinhança e do cálculo da altitude média em relação às células representativas da rede viária dentro da janela de vizinhança definida, é possível identificar as margens de cada troço da rede viária que apresentam uma altitude superior e inferior à própria estrada, permitindo assim a definição das áreas restritas à propagação. Contudo, devido à densidade da rede viária, o valor cumulativo máximo de atrito que pode ser atribuído a este tipo de fontes é

bastante limitado de forma a limitar problemas na modelação. Alguns dos problemas observados na modelação utilizando vários pontos são bastante mais agravados em dados representativos de redes. Uma margem que seja restritiva a um troço poderá não ser ao troço adjacente, sendo este problema especialmente relevante e facilmente observável em áreas declivosas/montanhosas, onde a rede viária é construída diagonalmente à inclinação da vertente, e em ziguezague.

Outro problema associado é a constante alteração de altitude ao longo da rede viária e a consequente mudança constante da margem que é restritiva – em certos casos até no mesmo troço de estrada, cujo problema reside na possibilidade de existir uma modelação de propagação que contorne a restrição caso o valor cumulativo máximo seja muito alto, algo que não se pode verificar devido às leis fundamentais da física. Por essa razão, caso se conheça a localização de um acidente rodoviário que envolva derrames de substâncias perigosas em grandes quantidades, estas ‘fontes’ devem ser representadas por pontos e deverá ser feita uma modelação de acordo com a metodologia dos pontos, que não só é mais simples e mais abrangente, como permite o aumento do valor cumulativo máximo de atrito e a respetiva área afetada ou potencialmente contaminada.

#### 3.6.2.1 – Rede Viária

Os troços utilizados como fontes representam as autoestradas, itinerários complementares e a rede primária, secundária e terciária devido à escala gráfica (fig. 26). São os únicos troços suficientemente largos para serem representados por células a uma escala de 1:25 000 devido à regra geral dos 0,5 mm de precisão gráfica (Hengl, 2006) – 12,5 metros ou, no caso das cartas militares de Portugal, 10 metros. O nome das respetivas classes dos troços utilizados do OSM são *motoroway*, *trunk*, *primary*, *secondary*, *tertiary* e todos os *links* das respetivas classificações, ou ligações. Pode-se ainda encarar estes troços como as principais vias de transporte de mercadorias perigosas, ainda que o transporte de substâncias perigosas apenas esteja limitado temporalmente e não espacialmente (salvo estradas com limites máximos de peso, diâmetro ou largura do veículo).



*Figura 26 – Troços da rede viária utilizados na modelação*

Utilizou-se uma janela de vizinhança retangular de 5x5, visto que o uso de uma janela de 3x3 dava origem a ‘buracos’ nas áreas de restrição e utilizou-se um valor cumulativo máximo de atrito de 5 000. Não é aconselhável a utilização de uma janela de vizinhança de 10x10 e de um valor cumulativo máximo de atrito superior a 10 000, tanto pela sobreposição de áreas de restrição de troços adjacentes como pela propagação de contaminação para áreas cuja progressão é fisicamente impossível (figura 27). A janela de vizinhança de 5x5 também não resolve por completo o problema dos ‘buracos’, mas cria áreas de restrição robustas o suficiente para não existir propagação de contaminação para áreas onde seria impossível por escoamento superficial.

Na figura 27.a observa-se a complexidade na modelação da propagação em troços sobrepostos, geralmente constituídos por pontes. Os restantes exemplos representam as alterações das margens nos mesmos troços de estrada consideradas restritivas à propagação e demonstram o porquê de ser complicada a aplicação de restrições de altitude à propagação de contaminação em redes, onde a variação da altitude é constante. A figura 27.e apresenta o

problema de modelação em áreas declivosas/montanhasas, onde existem claramente restrições a troços de estradas a altitude inferiores que limitam a propagação da contaminação proveniente dos troços a altitudes superiores.

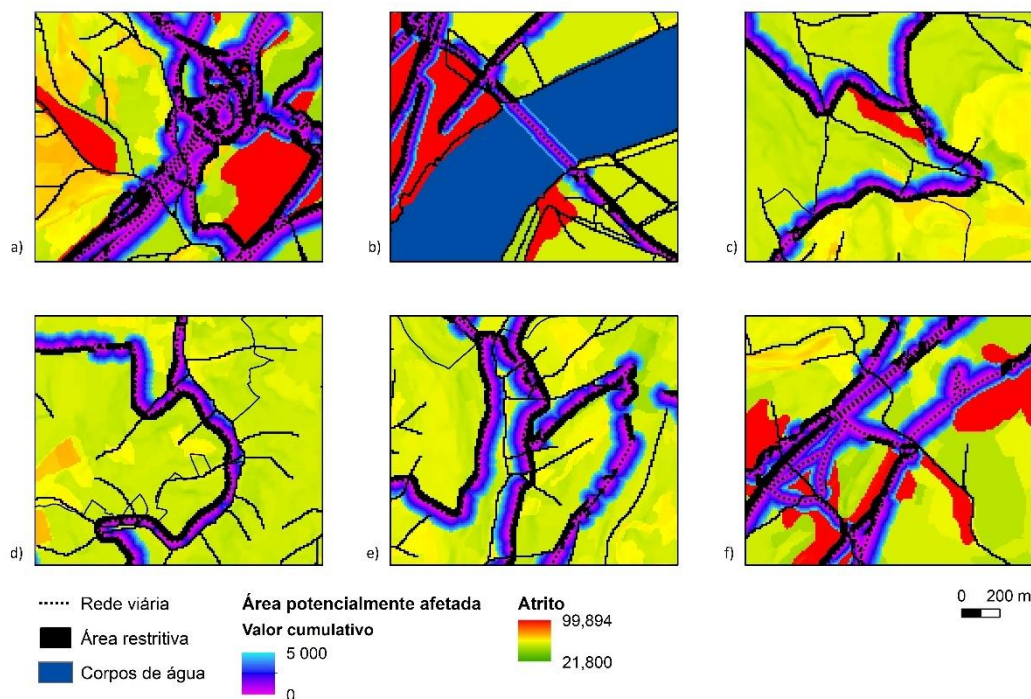


Figura 27 – Propagação da contaminação de solos - Rede viária representada por linhas

É ainda relevante mencionar que, na figura 27.b, a propagação de contaminantes é efetuada no rio Tejo, apesar de ter sido referido que a propagação de contaminantes em corpos de água não é o objetivo deste trabalho. Porém, e também como mencionado previamente (subcapítulo 3.5.3), a restrição da hidrografia é feita através dos cursos de água identificados na Carta Militar de Portugal (que apenas identifica o perímetro dos corpos de água) e não através da COS 2015 e do respetivo polígono, pelo facto de ter um número de escoamento e valor de atrito associado. Na figura 28 está representado o modelo concetual.

Admitidamente, deve ser feita a integração dos corpos de água neste tema enquanto restrição, visto não se tratar de solos e por ser um procedimento bastante rápido e simples, pois é necessário apenas retirar os polígonos referentes aos mesmos, converter de vetor para matriz, reclassificar os valores da matriz e somar às restantes restrições antes de se proceder à uniformização das mesmas. Contudo, quando confrontado com o problema da modelação em pontes, e por existirem várias sobre o rio Tejo, a integração dos corpos de água não é feita para que se observem exemplos dessa modelação e dos potenciais problemas associados.

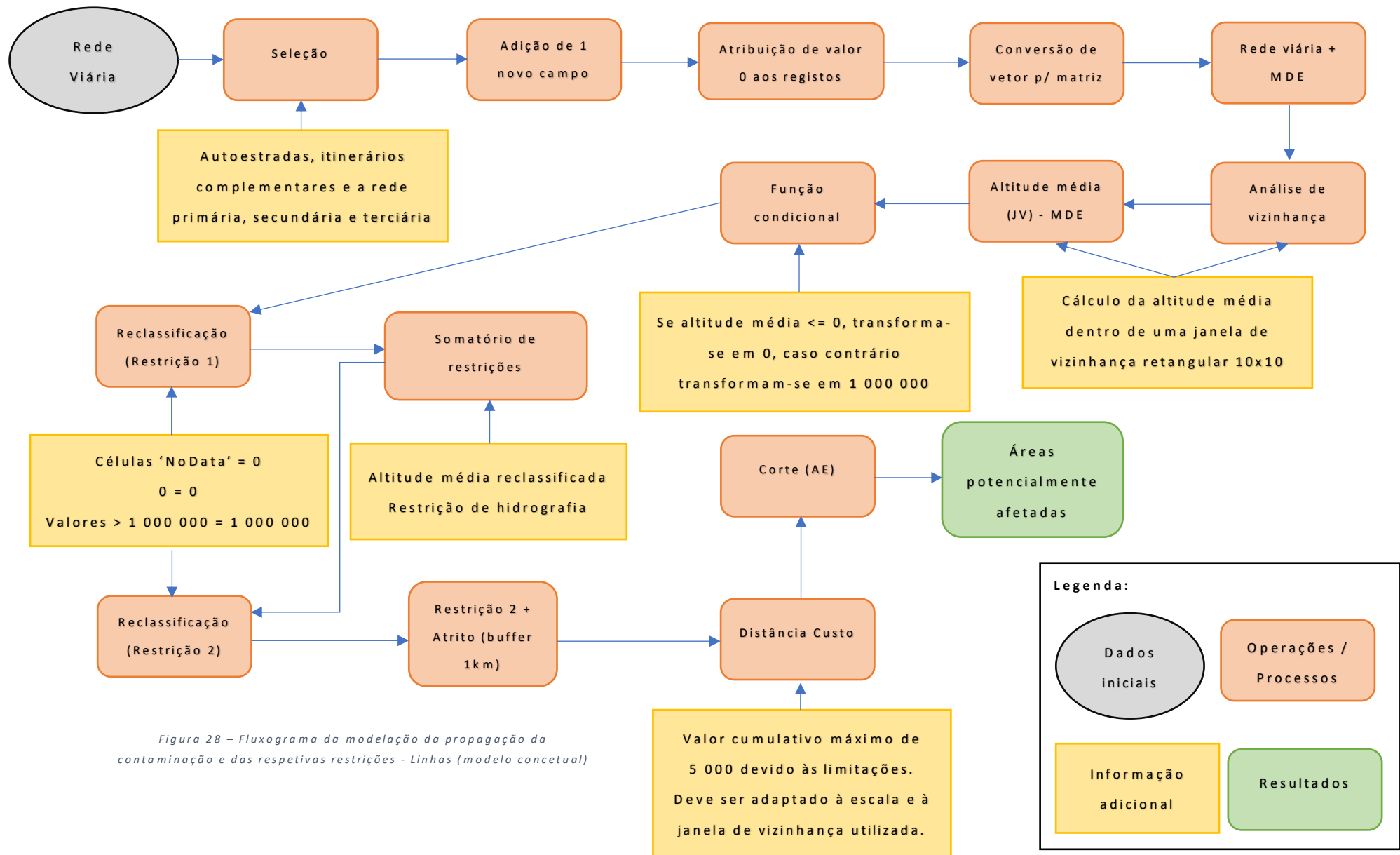


Figura 28 – Fluxograma da modelação da propagação da contaminação e das respetivas restrições - Linhas (modelo conceitual)



### 3.6.3 – Fontes representadas por polígonos e aplicação das restrições

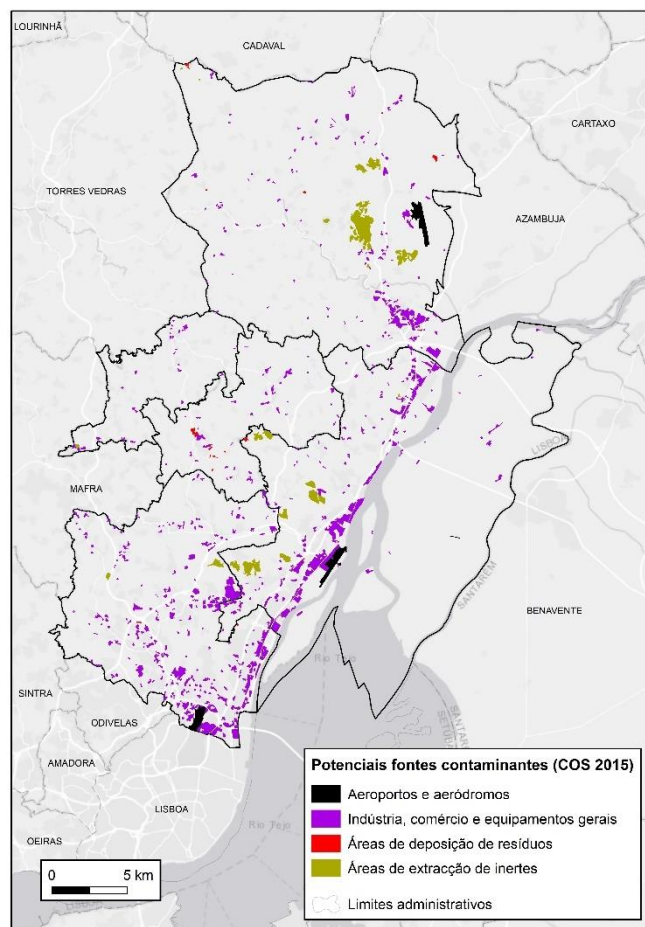
As fontes de contaminação representadas por polígonos neste trabalho são as indústrias Seveso e os polígonos retirados da COS 2015 referentes à indústria e comércio, aeroportos e aeródromos, áreas de extração de inertes e áreas de deposição de resíduos (fig. 29). O desenho dos polígonos referentes às indústrias Seveso foi feito não só devido à área ocupada por esses estabelecimentos (embora existam, inevitavelmente, outros estabelecimentos cuja área também não deva ser representada apenas por pontos e não estejam classificados como indústrias Seveso, mesmo à escala 1:25 000), como para existir uma base de comparação entre as diferenças nos resultados e limitações da modelação em casos onde se utilize um ficheiro com vários registos, ou polígonos (COS 2015), e ficheiros de registos individuais (Seveso).

Os polígonos apresentam, de forma geral, as mesmas limitações e problemas das linhas, quando existem vários registos por ficheiro. A implementação das restrições de altitude é feita através da média ponderada utilizando janelas de vizinhança mas, ao atribuir-se as restrições a um grupo de polígonos e a polígonos individuais, alguns dos problemas identificados na rede viária são postos em teste, tais como a definição dos tamanhos das janelas de vizinhança utilizados para encontrar as áreas de restrição e o valor cumulativo máximo de atrito que é possível definir-se antes de começarem a existir erros de modelação e sobreposição de áreas de restrição. Já a utilização de tamanhos de janelas de vizinhança inadequados no cálculo da média ponderada de altitude tem efeitos mais graves na modelação da propagação que nos ficheiros de redes, visto trabalhar-se com áreas, existindo a possibilidade de sobreposição de restrições de um polígono a polígonos adjacentes presentes cujos valores de altitude sejam superiores. Os polígonos retirados da COS 2015 contêm as áreas referentes aos estabelecimentos Seveso, embora apresentem uma generalização maior devido ao método de construção dos polígonos da COS e da respetiva escala mínima anexada aos dados (descritos nas especificações técnicas) quando comparados ao desenho ‘à mão’ dos polígonos.

#### 3.6.3.1 – Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo é utilizado para representar um conjunto de polígonos. Embora agrupe as classes de uso e ocupação do solo (fig. 29) que apresentem possibilidade de contaminação dos solos e não sejam comparáveis em termos de potenciais impactes em caso de acidentes, a modelação da propagação é feita de igual forma à das fontes representadas por linhas e o seu agrupamento é mantido de forma a exemplificar áreas com pequenas e grandes densidades.





*Figura 29 – Localização das fontes potencialmente contaminantes - Polígonos COS 2015*

Na atribuição da restrição de altitude foi utilizada uma janela de vizinhança retangular de 10x10 e um valor cumulativo de 5 000 (fig. 30). Tanto o tamanho e tipo da janela de vizinhança e o valor cumulativo pode, e deve ser aumentado ou diminuído de acordo com a densidade das classes de uso e ocupação do solo descritas acima na área de estudo.

Na figura 30.e é observável um problema de modelação (não é caso único ao longo do rio Tejo) e é proveniente tanto da sobreposição de dados oficiais de duas fontes diferentes - DGADR e CIGeoE (polígono referente a uma potencial fonte de contaminação e perímetro do corpo de água) - como da não integração dos corpos de água enquanto restrição. Ainda assim, sendo facilmente identificáveis pelo responsável e ao não ser aconselhável a utilização das áreas potencialmente afetadas em análises espaciais específicas, tais como por exemplo cálculos das áreas afetadas (problemas de generalização e grandes diferenças no tamanho das áreas de acordo com a janela de vizinhança e do valor cumulativo máximo escolhido), a modelação da propagação sobre o corpo de água não constitui um problema, merecendo apenas uma

chamada de atenção durante as análises de resultados (a propagação do contaminante pode ser feita para a água, mas não conta para o tema de contaminação de solos).

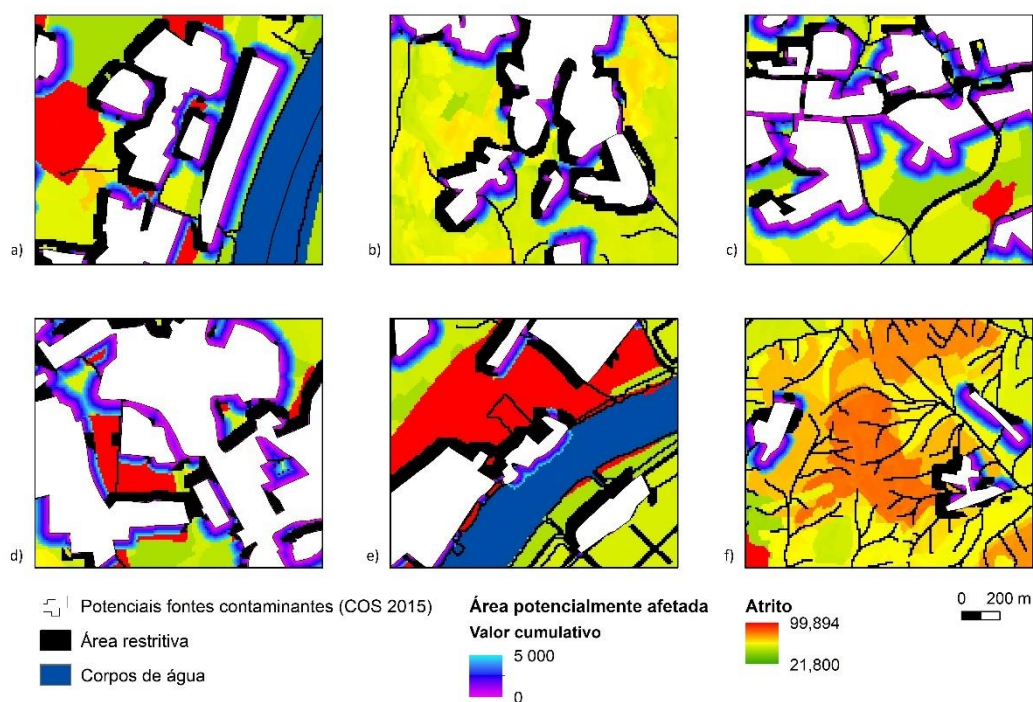


Figura 30 – Propagação da contaminação de solos - Fontes da COS 2015 representadas por polígonos agregados

### 3.6.3.2 – Seveso

Como já mencionado, ao utilizar-se polígonos individuais, elimina-se as limitações relativamente ao tamanho e tipo de janela de vizinhança e do valor cumulativo máximo de atrito da aplicação das restrições de altitude, para além de eliminar o problema de sobreposição de restrições. Na aplicação da restrição de altitude à Seveso Superior, por processos iterativos, utilizou-se uma janela de vizinhança circular com um raio de 100 células (ou um quilómetro) e um valor cumulativo máximo de atrito de 50 000 (fig. 31). O objetivo da utilização de uma janela circular composta por uma área muito superior às janelas de vizinhança utilizadas tanto para as linhas como para o grupo de polígonos consiste na cobertura total da área potencialmente afetada pela propagação da contaminação de forma a que não seja possível o contorno da propagação pelas áreas restritivas. A utilização de uma janela circular advém do facto de, como observado nos resultados dos ficheiros de pontos, a propagação se efetuar maioritariamente em mancha de óleo (do centro para a periferia), embora a utilização de janelas retangulares também seja uma opção a custo de um aumento do tamanho das mesmas.

Em adição ao estabelecimento classificado como Seveso Superior, a utilização de polígonos individuais representativos dos estabelecimentos classificados como Seveso Inferior permite a observação de alguns aspetos importantes devido à presença de dois estabelecimentos relativamente próximos entre si e já demonstrados, em parte, pelos resultados da modelação através de pontos, nomeadamente a sobreposição de restrições e das áreas potencialmente afetadas em estabelecimentos do grupo de efeito dominó. A utilização do cálculo da média ponderada utilizando janelas de vizinhança com um raio de 60 células (ou 600 metros) e um valor cumulativo máximo de atrito de 25 000 (fig. 31) é suficiente para se observar as vantagens da modelação de propagação de fontes individuais comparativamente a fontes agrupadas, visto ser possível a análise das áreas potencialmente afetadas de cada estabelecimento e, em ambiente SIG, verificar a sobreposição das áreas potencialmente afetadas dos estabelecimentos do grupo de efeito dominó.

As figuras 31.a e 31.d observam uma ocupação total da área disponível à propagação de contaminantes (visto estarem cercados por restrições), ou seja, os valores cumulativos máximos definidos (50 000 e 25 000, respetivamente, não são atingidos pela modelação da propagação.

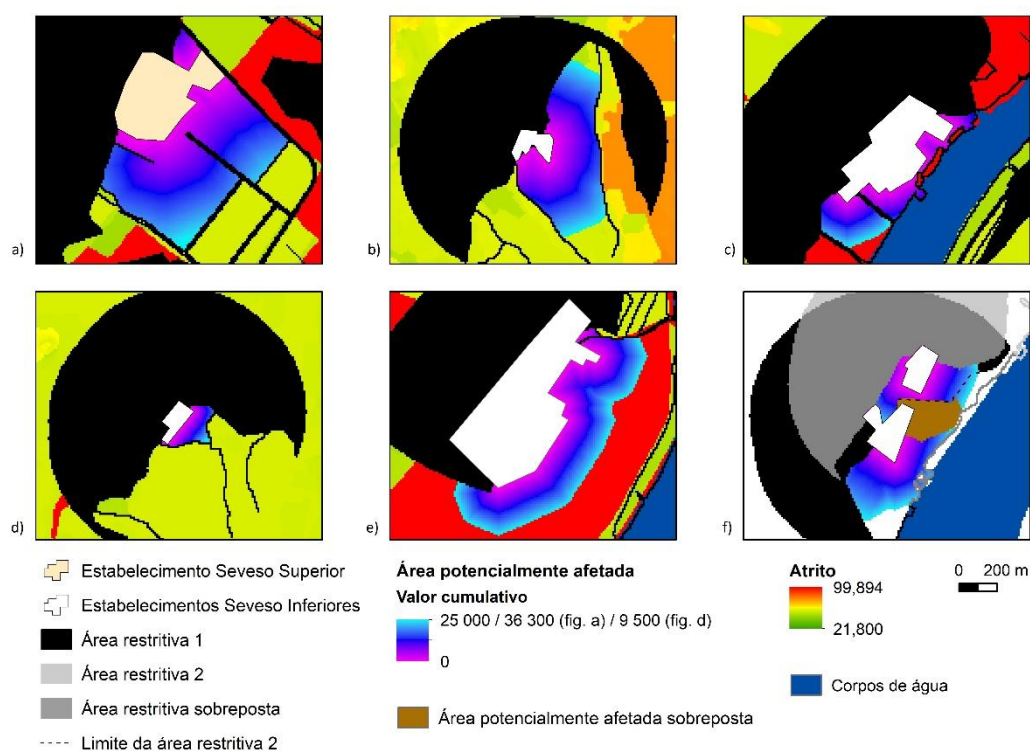


Figura 31 – Propagação da contaminação de solos - Estabelecimentos Seveso representados por polígonos individuais

De forma a compreender-se os passos intermédios relativos à aplicação da restrição de altitude e de que forma são encontradas as áreas restritivas (incluindo a hidrografia), não só dos polígonos, sejam eles agregados ou individuais, como para qualquer rede, como a rede viária, utilizando análises de vizinhança, é exemplificado na fig. 32 os passos e as respectivas superfícies resultantes de um estabelecimento Seveso Inferior, representando cartograficamente o processo descrito nas figuras 33 e 34.

A fig. 32.b representa o cálculo dos valores médios de altitude num raio de 60 células (600 metros), tendo o centroide do estabelecimento como centro do círculo;

A fig. 32.c representa a diferença entre a altitude média calculada em 32.b e o MDE;

A fig. 32.d representa uma classificação dos valores de altitude, onde todas as células com valores superiores a 0 transformam-se em células restritivas com valor 1 000 000. As células com valores iguais ou inferiores a 0 não sofrem alterações. Representa também a área restritiva final de altitude anexada ao estabelecimento Seveso Inferior em estudo dentro da janela de vizinhança definida inicialmente na figura 31.b e é utilizada na soma de restrições da figura 31.e;

A fig. 32.f representa a superfície utilizada na modelação da propagação e resulta da soma das restrições com a superfície final de atrito.

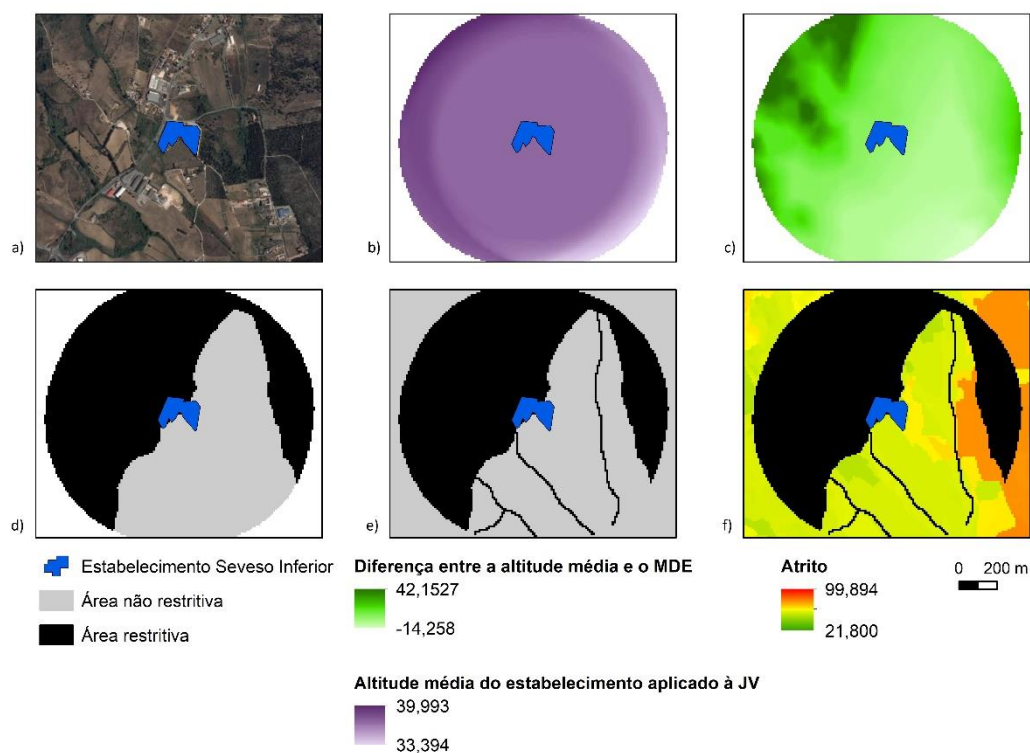
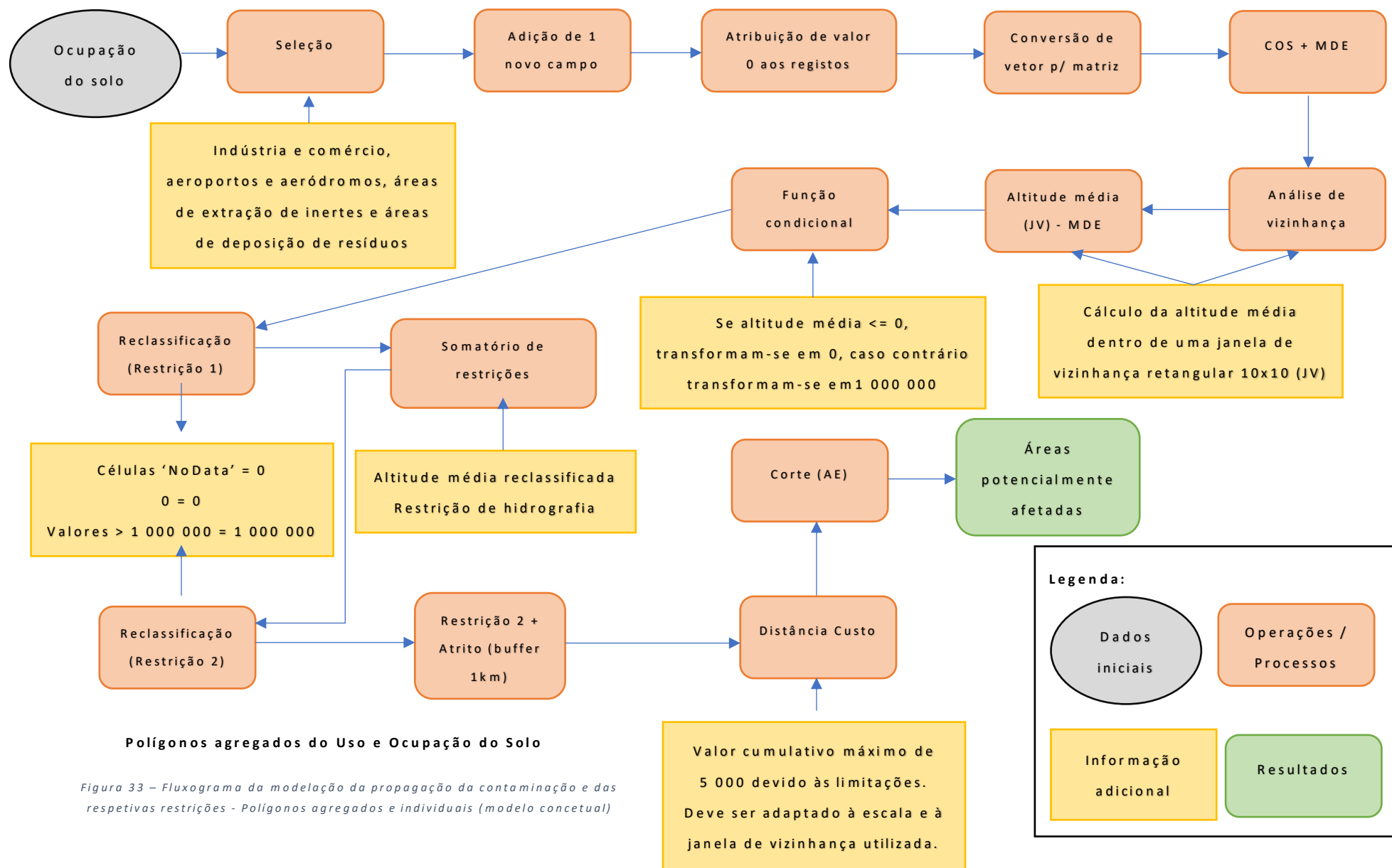
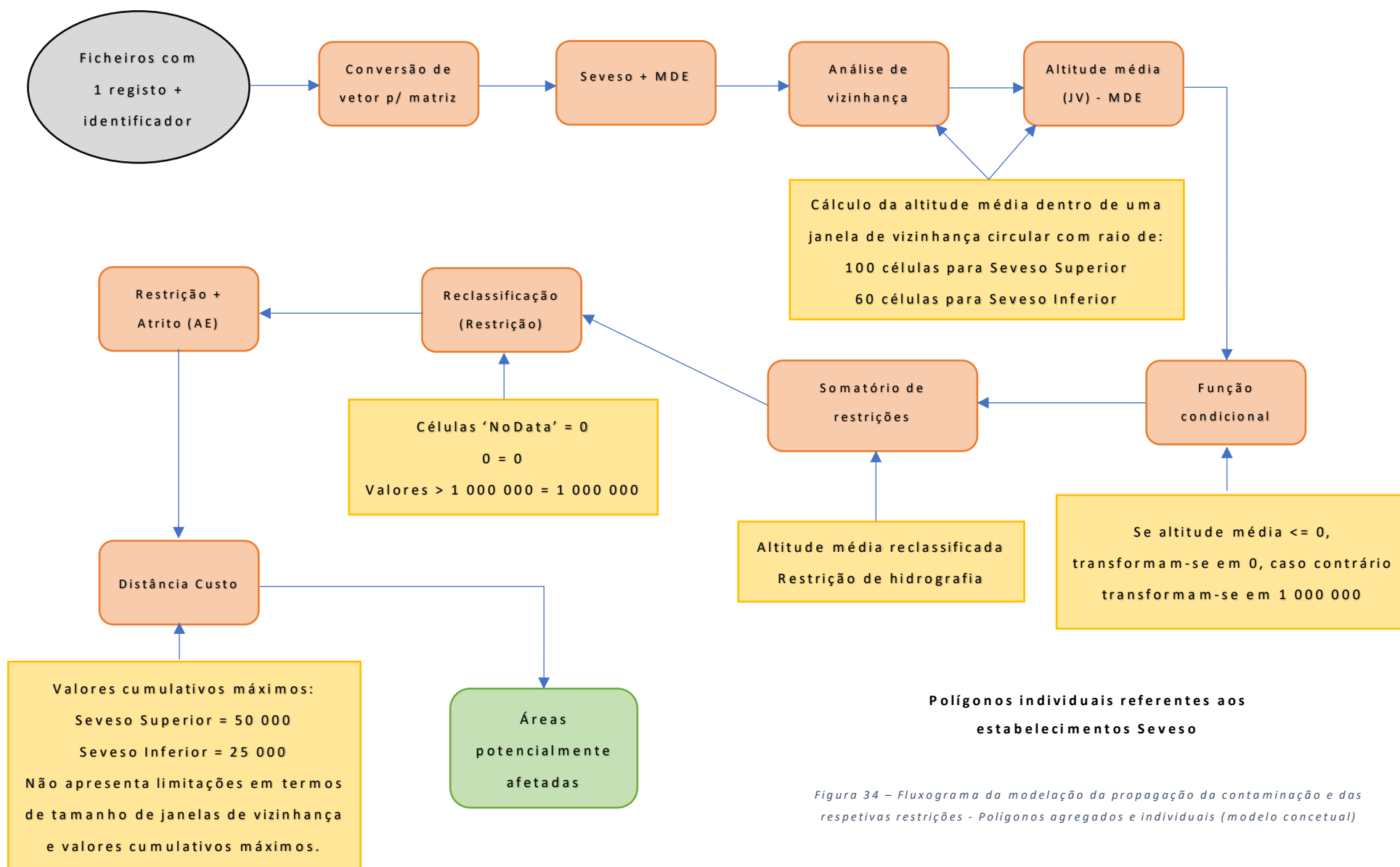


Figura 32 – Implementação da restrição de altitude utilizando análises de vizinhança







### 3.7 – Problemática da validação do modelo de suscetibilidade

A principal razão pela qual foi decidido recorrer-se a um modelo de atrito centra-se na questão da validação. À data deste relatório não existe, tanto quanto se sabe, um inventário nacional de locais e/ou áreas contaminadas disponível ao público de Portugal, ainda que esse inventário esteja em construção pela APA.

Existem três formas de validação potenciais deste modelo, nomeadamente:

- Através da existência desse inventário nacional, que permitiria a utilização de outros métodos matemáticos, tais como o valor informativo (em caso de polígonos de áreas contaminadas) ou regressão logística (em caso de pontos de locais contaminados). Porém, a utilização dos métodos matemáticos não está limitada aos tipos de dados mencionados – por exemplo, o valor informativo pode também ser utilizado caso exista um inventário constituído por pontos, apesar de serem situações muito menos comuns, em que o mesmo acontece com a regressão logística;
- Obtenção de um inventário de uma determinada área, recorrendo a análises de solos em laboratório, com a dificuldade acrescida de obter informação sobre os valores normais dos constituintes do solo de onde foi retirada a amostra de forma a saber-se se estão contaminados e pelos custos económicos inerentes;
- Imagens de satélites, embora este método de identificação de substâncias perigosas no solo esteja limitado a alguns metais pesados e não demonstre ainda bons resultados.

A impossibilidade de validação do modelo cria alguns problemas ao não permitir a confrontação dos resultados com o cenário real. Apesar disto, um modelo de atrito baseado em processos iterativos recorrendo a calibrações heurísticas e à arbitrariedade que permite uma adaptação e/ou alteração das variáveis que o compõem, tem utilidade.





## Capítulo 4 – Resultados

## 4.1 – Análise e discussão

Existem alguns problemas associados a trabalhos relativos à componente de modelação espacial da suscetibilidade baseada em atrito. Estes tipos de modelos são utilizados por falta de opções, onde a arbitrariedade (independentemente de existirem opiniões especializadas) é utilizada na definição de valores das variáveis. Os problemas encontram-se na generalização das áreas de suscetibilidade, na grande quantidade de decisões tomadas arbitrariamente, na dificuldade de aplicação de restrições com o menor impacto possível nos resultados e na escassa disponibilidade de dados relevantes e de trabalhos e/ou legislação relevante referentes ao tema em estudo. Estes problemas dificultam a criação de um modelo matemático mais coerente e menos generalizado de representação do sistema em estudo.

De forma geral, o modelo de suscetibilidade criado neste trabalho apresenta vários problemas. Ao ser criado um modelo de suscetibilidade que possa ser utilizado como base à modelação da propagação, houve a necessidade de se retirar algumas variáveis independentes naturalmente importantes à representação da suscetibilidade devido à não existência de dados espaciais relativos à variável dependente (locais contaminados), impossibilitando a quantificação da relevância dessas mesmas variáveis independentes como fator explicativo do fenómeno. Para além disso, a adição de variáveis espaciais como velocidade/direção do vento, distância às áreas urbanas, à indústria e à rede viária (e ferroviária, se relevante) torna-se impossível por se observar a entrada duplicada de variáveis espaciais, alterando resultados, sendo assim recomendada uma separação do modelo de suscetibilidade e do modelo de propagação, apesar de se poderem utilizar os mesmos métodos.

O problema da integração duplicada de uma variável pode ser exemplificado pela integração da distância a fontes de contaminação (indústria, agricultura, entre outros...), tanto no modelo de suscetibilidade, onde é calculada a superfície de atrito (e retirada a suscetibilidade), como na modelação da propagação sobre essa mesma superfície de atrito, onde são utilizadas como ponto de partida. Ao serem incluídas na superfície de atrito (quanto maior a distância à fonte, menor será o valor de atrito atribuído), a modelação da propagação, feita utilizando essas fontes como ponto de partida e na grande maioria dos casos em mancha de óleo, calcula as áreas potencialmente afetadas utilizando a superfície de atrito cujos valores são alterados pela distância à fonte. Em suma, não pode existir uma modelação de propagação sobre uma superfície que utiliza os dados praticamente da mesma forma na atribuição de valores de atrito, ou resistência, à progressão do fenómeno e na obtenção das áreas potencialmente afetadas.

Apesar de o modelo permitir, teoricamente, a criação dos mais variados cenários recorrendo à alteração de valores de atributos e/ou de variáveis, à adição de outras variáveis independentes ao modelo ou a outros métodos de tratamento de dados, a impossibilidade de validar o mesmo representa, invariavelmente, o maior problema.

Relativamente à suscetibilidade na área de estudo, não existem classes muito baixa ou baixa em toda a sua extensão, observando-se a maioria da área de estudo com classes moderada e elevada. Como a introdução do território artificializado é considerada opcional, apresentam-se os dois tipos de resultados e as respetivas percentagens de cada classe de suscetibilidade na área de estudo.

*Tabela 5 – Frequência relativa (%) do território em cada classe de suscetibilidade.*

Classe de suscetibilidade	Frequência relativa (%) por classe	
	Com corpos de água / sem território artificializado	Com corpos de água e território artificializado
<b>Muito baixa</b>	0	0
<b>Baixa</b>	0,006	0,0007
<b>Moderada</b>	65	57
<b>Elevada</b>	21,8	21,4
<b>Muito elevada</b>	7,4	3,2
<b>Corpos de água</b>	5,8	5,8
<b>Território artificializado</b>	N/D	12,6

Estes resultados podem ser explicados principalmente por duas razões:

- A função exponencial escolhida para descrever matematicamente o comportamento do escoamento superficial de acordo com os declives – observa-se uma média de 98 no valor de atrito (36 é valor mínimo na área de estudo numa escala de 0 a 100, onde 0 está associado a um declive de 90°);
- O facto da maioria dos tipos hidrológicos da grande parte do solo da área de estudo ser tipo C e D – apresentam os maiores valores do número de escoamento quando cruzados com a maioria das classes de uso e ocupação do solo (à exceção das classes presentes em territórios artificializados, cujas alterações são nulas ou muito pequenas), que, quando invertidos, apresentam uma média de 28 na área de estudo.

Desta forma, juntando o facto de a agregação das variáveis ter sido feita utilizando uma CLP e de se ter atribuído pesos iguais às duas variáveis, torna-se fácil a compreensão do porquê destes resultados onde a suscetibilidade na área de estudo é maioritariamente moderada e elevada, pecando pela falta de variáveis importantes e pela generalização dos mesmos. Contudo, tendo em conta a necessidade de modelar a propagação da contaminação de solos utilizando a superfície de suscetibilidade como superfície de atrito/resistência, estes resultados são minimamente satisfatórios e aptos a serem utilizados na modelação da propagação. Posto isto, é evidente que, caso o objetivo seja a obtenção e identificação das áreas mais suscetíveis à contaminação de solos, tem de existir uma introdução de variáveis no modelo de suscetibilidade, tais como a distância às várias fontes de contaminação (e, dependendo da escala, a precipitação e velocidade/direção do vento), alterar o método de agregação das variáveis (passando a utilizar o PAH como forma de atribuição de pesos às variáveis a integrar a CLP, por exemplo) e separar-se o modelo de suscetibilidade da modelação da propagação do fenómeno em estudo. Quando o inventário nacional de locais contaminados estiver concluído e disponível ao público, o modelo de atrito utilizado (baseado na arbitrariedade) pode ser excluído, devendo ser adotados outros métodos de obtenção de suscetibilidade que permitam a validação do mesmo, a não ser que os objetivos do modelo apenas sejam conseguidos utilizando os próprios modelos de atrito ou que a informação disponibilizada não permita conhecer detalhadamente o foco, o processo de contaminação e do período de tempo de exposição a contaminantes (o que pode ser indicativo de uma acumulação progressiva de contaminantes ao longo do tempo, proveniente de vários focos), tornando difícil o estabelecimento da relação causa-efeito e da consequente garantia de uma validação segura.

Referente à obtenção das áreas potencialmente afetadas através da modelação da propagação de contaminação dos solos, os resultados são satisfatórios, mas também apresentam vários problemas em análises mais pormenorizadas, especialmente em termos de escala de trabalho e dos dados disponíveis.

Os métodos de implementação de restrições, apesar das limitações enunciadas no respetivo capítulo, são bastante bons e eliminam os problemas que se vinham a observar ao longo do trabalho relativamente às fontes de contaminação representadas por linhas ou polígonos individuais ou por pontos, linhas e polígonos agrupados no mesmo ficheiro cuja distância entre eles era relativamente pequena. As análises de vizinhança, método adotado na aplicação da restrição de altitude para linhas e polígonos, agregados ou não, e que pode ainda ser utilizado para grupos de pontos é versátil no sentido em que pode ser adaptado para qualquer tipo de problema, seja qual for a escala de trabalho, enquanto a maioria dos erros são mínimos e

facilmente corrigidos com a alteração do tamanho e/ou tipo de janela utilizado ou pela desagregação das fontes de contaminação (tratamento das mesmas de forma individual para evitar sobreposições de áreas restritivas com a localização das fontes), ou devidamente identificados.

Relativamente aos problemas de análise mais pormenorizados, especialmente em termos de escala de trabalho e dados disponíveis, chama-se à atenção para a utilização da hidrografia enquanto restrição e da propagação em mancha de óleo, particularmente nos casos em que a fonte de contaminação é representada por pontos. A hidrografia, embora a sua utilização seja indispensável na identificação de cursos de água (que representam fundos de vale), as áreas planas são um problema, especialmente quando se trata de áreas agrícolas em leitos de cheia. Ao ser utilizada como barreira à progressão da contaminação no modelo, é observada, em muitos casos, a contenção da área potencialmente afetada dentro de uma parcela de terreno quando, na realidade, a propagação é feita pela água para as parcelas vizinhas, algo que o modelo não é capaz de fazer no seu estado atual. Este problema tem por base a utilização de áreas agrícolas enquanto fontes de contaminação, especialmente as que observem uma agricultura intensiva.

As áreas potencialmente afetadas variam com valor cumulativo máximo de atrito que é escolhido na distância custo. Como o valor serve para restringir o tamanho da área potencialmente afetada, a mesma não deve ser utilizada em análises estatísticas pormenorizadas, mas sim em casos de apoio à decisão onde exista a necessidade de consultar de forma generalizada as áreas onde, hipoteticamente, pode existir uma contaminação dos solos através de descargas acidentais ou intencionais de substâncias perigosas dada uma localização. É importante ainda ter em consideração que o aumento das áreas potencialmente afetadas, podem representar uma diminuição na concentração dos contaminantes no local e um aumento da concentração para jusante devido ao transporte dos mesmos. O conhecimento desta dinâmica deve estar presente aquando da alteração do valor cumulativo máximo e dos tipos de fenómeno em causa – contaminação local ou difusa.

A criação de cenários, ainda que complicada, pode ser uma das opções mais vantajosas deste modelo. A possibilidade de introdução de variáveis e de alteração de valores de atributos são uma mais valia para este trabalho. Por exemplo, a alteração dos valores cumulativos máximos de atrito pode ser representativa de uma progressão temporal. A introdução da precipitação e da equação da perda inicial pode indicar as áreas onde existe escoamento ou apenas infiltração de acordo com a precipitação num determinado espaço de tempo e a alteração dos valores do

número de escoamento poderá indicar a suscetibilidade (com todos os problemas associados ao modelo no seu estado atual) em cenários de seca ou de chuva intensa.

## 4.2 – Vantagens, desvantagens, problemas e possíveis soluções

Posto isto, existem vários pontos positivos e negativos relativos tanto ao tipo de modelo utilizado como à metodologia utilizada no tratamento das variáveis inseridas do modelo e que foram sendo expostos ao longo do trabalho, sendo agora expostos de forma sucinta e organizada. Nos pontos positivos observam-se os seguintes:

- Estabelece, com sucesso, uma base à introdução da suscetibilidade de contaminação de solos em termos de modelos espaciais;
- Estabelece o que deve ser utilizado e aquilo que deve ser evitado, no contexto dos modelos matemáticos que representem, de forma simplificada, fenómenos espaciais com recurso a métodos arbitrários;
- Facilmente alterado para vários objetivos e calibrado na criação de cenários, incluindo a introdução de novas variáveis e mudança de escala de trabalho;
- Relativamente simples de ser utilizado;
- Fácil obtenção da maioria de dados relevantes (exceto a grandes escalas);
- Permite a obtenção das áreas potencialmente afetadas por contaminação através de descargas acidentais ou intencionais de substâncias perigosas para a saúde humana e ambiente com resultados satisfatórios de forma relativamente rápida;
- Possibilita a interseção de informação (característica intrínseca dos SIG), como por exemplo elementos sensíveis ou população, identificando a vulnerabilidade de cada município em caso de cenário de descargas acidentais ou intencionais de contaminantes;
- Neste caso em particular, a utilização do *script* melhora a eficiência de todo o processo de construção e calibração do modelo;
- Permite a observação das limitações dos dados e do modelo de propagação.

Relativamente aos pontos negativos, estes contêm e descrevem problemas, por vezes graves, que não podem nem devem ser ignorados, tais como:

- Apesar da fácil obtenção de dados, existem várias limitações à utilização e/ou integração dos mesmos e podem ainda existir custos associados (não é, de todo, exclusivo a este trabalho, antes pelo contrário), excluindo ainda potenciais problemas dos dados originais

que podem ter de ser corrigidos (em alguns casos pode ser extremamente demorado, como os problemas geométricos do uso e ocupação do solo encontrados);

- Escolha do método mais adequado ao tratamento da informação é muito complicada e complexa, especialmente quando existe a necessidade de representar um comportamento em linguagem matemática (por exemplo, declives utilizados neste trabalho – numerosas opções, onde todas elas têm impacto, por vezes significativos, nos resultados);
- Altamente suscetível a mudanças de escala de trabalho (integração de diferentes variáveis, alteração de métodos, entre outros);
- Obriga à eliminação de variáveis independentes importantes à obtenção da suscetibilidade devido à utilização da superfície de atrito/resistência na modelação da propagação, tais como distâncias a fontes de contaminação. Este ponto negativo pode, obviamente, ser contornado, ao criar-se efetivamente duas superfícies diferentes, não obstante da utilização, como já mencionado, de diferentes metodologias;
- Partilha os problemas gerais das escalas diminutas de alguns dados (por exemplo, precipitação, cuja variável só é fidedigna até uma certa escala que é, geralmente, demasiado pequena para análises em pormenor devido à dispersão das estações pluviométricas no território, obrigando assim a utilização de métodos de interpolação e a todos os problemas associados aos mesmos – dedução de valores por aproximação, que variam de acordo com a forma em que é representada em linguagem matemática);
- Não existência de um inventário nacional de locais contaminados disponível ao público à data deste trabalho, diminuindo drasticamente as opções de metodologia que podem ser adotadas na criação de um modelo de suscetibilidade de contaminação de solos (impede a quantificação de relações entre a variável dependente e as variáveis independentes) e impossibilitando a validação do mesmo;
- Não integra qualquer tipo de edificado na superfície de atrito utilizado na modelação da propagação da contaminação ou redes de drenagem/escoamento;
- Impossibilidade de análise de redundância dos fatores escolhidos e/ou integrados no modelo devido à inexistência da variável dependente.





## Considerações finais

A construção de modelos espaciais que permitam representar fenómenos reais de forma simplificada e que permitam análises espaciais dos seus sistemas constitui processos complexos e complicados. O modelo de suscetibilidade construído ao longo deste trabalho apresenta vários problemas, de entre os quais a necessidade de excluir certas variáveis independentes em prol da modelação da propagação do fenómeno em estudo, da escala de trabalho e da complexidade da temática que este tenta representar.

O modelo de suscetibilidade apresenta resultados generalizados no sentido em que mais de metade da área de estudo está incluída na classe de suscetibilidade moderada, e cerca de um quarto da área de estudo está inserida na classe de suscetibilidade elevada. Ainda que a não existência de classes de suscetibilidade muito baixa e baixa na área de estudo represente, em parte, uma realidade graças à extensão da degradação dos solos observada pelo planeta, para efeitos de análises espaciais ou até mesmo da propagação da contaminação, esse facto constitui um problema que deve ser resolvido, embora a maioria da propagação da contaminação observada nos resultados seja feita de acordo com grande parte da propagação de outros fenómenos, ou seja, em mancha de óleo.

O tipo de modelo utilizado também tem a sua utilidade, tendo sido escolhido a modelação por atrito (utilizando a arbitrariedade na aplicação de valores de atrito para grande parte do modelo – que pode ser diminuída com a compreensão física do fenómeno e do sistema em estudo) por falta de outras opções devido à inexistência de dados espaciais fidedignos que representem locais contaminados conhecidos numa amostra representativa (preferencialmente com indicação da fonte, do tipo de contaminação e de uma escala temporal) que pudessem ser utilizados, tanto na construção do modelo de suscetibilidade recorrendo a outras metodologias, como na validação do mesmo, algo que não foi possível fazer. Outro potencial método de validação na falta de inventário nacional identifica-se como a obtenção de amostras através da análise de solos em vários pontos da área de estudo, com o problema de, muito provavelmente, não se conhecer o estado natural do mesmo – impossibilidade de se saber se o solo está efetivamente contaminado ou não por falta de referências –, e dos custos associados.

Para efeitos da modelação da propagação da contaminação de solos, as análises de vizinhança são a metodologia indispensável, responsável não só pelo cálculo das áreas potencialmente afetadas como pelo cálculo das áreas restritivas. Os tipos e tamanhos das janelas de vizinhança são essenciais à minimização dos erros de modelação e estão dependentes do potencial tamanho da área afetada. Dependendo do tipo de informação vetorial utilizada

para representação da fonte de contaminação (ponto, linha ou polígono), existem diferentes limitações à utilização das janelas de vizinhança. A utilização de vários pontos, linhas ou polígonos na modelação da propagação ao mesmo tempo não é recomendada, especialmente em caso de pontos ou em áreas que apresentem uma grande densidade (ou duas muito próximas) de fontes representadas por linhas ou polígonos devido à sobreposição de áreas restritivas com as fontes de contaminação.

Na modelação da propagação em si, as diferenças inserem-se no tamanho das janelas de vizinhança utilizadas na aplicação das restrições (apesar de se terem utilizado janelas de 10x10 enquanto teste, o que não se deve fazer mas que à escala de trabalho é negligenciável – janelas são sempre em números ímpares) e na maior suscetibilidade de existirem buracos nas áreas restritivas que permitam a ‘fuga’ da contaminação pelas áreas restritivas, especialmente nos casos onde os tamanhos das janelas de vizinhança utilizadas são pequenos (geralmente 3x3 ou 5x5). A alteração das escalas de trabalho também permite a introdução da variável de precipitação, nomeadamente a escalas mais pequenas, como 1:100 000, sem efeitos negativos na modelação da propagação, ao contrário da introdução das distâncias aos vários tipos de fontes de contaminação. Já para escalas superiores existem outros métodos de obtenção do MDE que são, provavelmente, mais adequados às escalas em questão, tais como a fotogrametria e a tecnologia LiDAR.

Em suma, a contaminação de solos é um fenómeno demasiado complexo que compreende várias variáveis independentes para se conseguir construir um modelo representativo do comportamento de todo o sistema, sendo, na minha opinião, a principal razão pela qual não se tem observado grandes avanços na temática da suscetibilidade, ou até mesmo do risco, à escala deste trabalho, aliada à não existência de dados espaciais que representem e localizem, de forma inequívoca, os locais contaminados conhecidos e a forma como, e quando, foram contaminados. Os processos criados e os resultados obtidos nesta dissertação representam, de forma geral, um passo importante à definição e implementação de uma metodologia de suscetibilidade de contaminação de solos no País, sendo uma necessidade crescente e mais importante do que nunca com o aumento do setor dos serviços, da indústria, da agricultura intensiva e da população mundial, cujos impactes no solo são cada vez maiores e mais relevantes ao ser humano, à sua capacidade de exploração dos mesmo e da preservação da biosfera.

## Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *Solos Contaminados – Guia Técnico*. Lisboa.
- Apostolescu, Z., Chivu, O. R., Semenescu, A., Babis, C., Amza, C., Iacobescu, G., Adir, G. M. (2017). The Impacts of Industrial Processing of Oil on Soil Quality. *Rev. Chim.(Bucharest)*, (66), 111–115.
- Aqeel, M., Ashraf, M. J. M., & Yusoff, I. (2014). Soil Contamination, Risk Assessment and Remediation. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, 3–56.  
<https://doi.org/10.5772/57287>
- Araújo, R. (2013). *Diretiva Seveso Critério de Aceitabilidade de Risco para Portugal*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Educação e Ciências.
- Azambuja, E., Cancelier, D. B., & Nanni, A. S. (2000). Contaminação dos solos por LNAPL : discussão sobre diagnóstico e remediação. *II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica Da Região Sul*, 23.
- Boulding, J. R., & Ginn, J. S. (2004). *Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and Ground-water Contamination - Assessment, Prevention and Remediation* (2nd Edition).  
<https://doi.org/10.1002/9781444320367>
- Brito, M. G.; Costa, C. N.; Avillez, G.; Lopes, M.; Vendas, D.; Vargas, H.; Verdial, P. H. (2003). Aplicação de uma metodologia SIG na definição de um plano estratégico para a avaliação da contaminação de solos em ambiente urbano-industrial. *Finisterra XXXVIII* 75, XXXVIII(75), 101–114.
- Caldwell, J., & Ram, Y. M. (1999). *Mathematical Modelling: Concepts and Case Studies* (1st Edition). Springer Science.
- Comissão Europeia (2006). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the council: Establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC*. Bruxelas.
- Comissão Europeia (2012). *Aplicação da estratégia temática relativa ao solo e atividades em curso*. Bruxelas.
- Depledge, M. H., & Sanders, B. (1997). Ecological Risk Assessment of Contaminants in Soil. In N. M. van Straalen & H. Lokke (Eds.), *Ecological Risk Assessment of Contaminants in Soil* (1st Edition). <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6361-7>

- Dragović, S., Mihailović, N., & Gajić, B. (2008). Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere*, 72(3), 491–495.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.02.063>
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C., & Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112–118.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.146>
- Figueira, R., Sérgio, C., & Sousa, A. J. (2002). Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal. *Environmental Pollution*, 118(1), 153–163. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00203-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00203-2)
- Gorlach, B., Landgrebe-Trinkunaite, R., Interwies, E., Bouzit, M., Darmendrail, D., & Rinaudo, J. D. (2004). *Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation*.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*, 32(9), 1283–1298.  
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008>
- Hernandez-Soriano, M. C. (Ed.). (2014). *Environmental Risk Assessment of the Soil Contamination*. <https://doi.org/10.5772/57086>
- Jenny, H. (1994). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Courier Corporation.
- Jones, A., Montanarella, L., & Jones, R. (Eds.). (2005). *Soil Atlas of Europe*. European Commission, Joint Research Centre.
- Jorge, C. R. R. (1998). *Contaminated Soils - The Portuguese Situation /// Os Solos Contaminados - A situação em Portugal (Estudo Preliminar)*.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M. C., & Zêzere, J. L. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal* (Autoridade Nacional de Proteção Civil).  
<https://doi.org/298930/09>
- Kent, K. M. (1973). *A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Kovacs, T. G., Martel, P. H., & Voss, R. H. (2002). Assessing the biological status of fish in a river receiving pulp and paper mill effluents. *Environmental Pollution*, 118(1), 123–140.  
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00205-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00205-6)
- Krishna, A. K., & Govil, P. K. (2007). Soil contamination due to heavy metals from an industrial

- area of Surat, Gujarat, Western India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124(1–3), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9224-7>
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (2010). *Lições de Hidrologia* (3ª Edição). Fundação FCT.
- Ligero, R. A., Barrera, M., Casas-Ruiz, M., Sales, D., & López-Aguayo, F. (2002). Dating of marine sediments and time evolution of heavy metal concentrations in the Bay of Cádiz, Spain. *Environmental Pollution*, 118(1), 97–108. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00209-3)
- Lloyd, C. D. (2010). *Spatial Data Analysis: An introduction for GIS users* (1st Editio). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th Edition). Wiley.
- Loska, K., Wiechulła, D., & Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30(2), 159–165. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00157-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00157-0)
- Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. In *GIS, Remote Sensing, & Cartography*.
- Malczewski, J. (2000). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Mirsal, I. A. (2008). *Soil Pollution: Origin, Monitoring & Remediation* (2nd Edition). Springer.
- Miyazaki, T. (2006). Water Flow In Soils. In *Taylor & Francis* (2nd Edition).
- Moreira, F. (2017). *Protótipo do Atlas da Qualidade do Solo e Cartografia da Suscetibilidade à Contaminação de Solos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.
- Odukoya, A., Akinlolu, A., & Lawal, O. (2011). Potential soil contamination with toxic metals in the vicinity of active and abandoned dumpsites. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(5), 785–790. <https://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.5.785.790>
- Oliveira, M. J. P. M. de. (2004). *Recarga de águas subterrâneas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa.

- Panagos, P., Hiederer, R., Van Liedekerke, M., & Bampa, F. (2013). Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. *Journal of Environmental and Public Health*, Artical ID, 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.020>
- Pérez, A. P., & Eugenio, N. R. (2018). *Status of local soil contamination in Europe: Revision of the indicator "Progress in the management Contaminated Sites in Europe"*.  
<https://doi.org/10.2760/093804>
- Reif, B. (1973). *Models in Urban and Regional Planning* (1st Edition). Leonard Hill Books.
- Reif, B. (1978). *Modelos en la Planificacion de Ciudades y Regiones*. Madrid: Instituto de Estudios de Administracion Local.
- Rocha, F. J. P. da S. P. da. (2012). *Sistemas Complexos, Modelação e Geosimulação da Evolução de Padrões de Uso e Ocupação do Solo* (Universidade de Lisboa).  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88682-2\\_51](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88682-2_51)
- Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils - Genesis and Geomorphology*. New York: Cambridge University Press.
- Shayler, H., McBride, M., & Harrison, E. (2009). Sources and Impacts of Contaminants in Soils. *Soil Sciences*, (Cornell Waste Management Institute), 1–6.
- Soil Conservation Service. (1989). *Hydrology Training Series*. p. 95. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Ward, A. D., & Trimble, S. W. (2003). Environmental Hydrology. In *Environmental hydrology* (2nd Edition). Lewis Publishers.
- Wilson, A. G. (1974). *Urban and Regional Models in Geography and Planning*. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd.

## Anexos





## Anexo I – Tipos hidrológicos do solo e do número de escoamento (AMC II)

Tabela 1 – Atribuição do tipo hidrológico retirado de Oliveira (2004) aos tipos de solos.

Solo	Tipo	At(h)	D	Pa(h)	D	Ppt(a,p)	B
A	B	At(p)	D	Pac	C	Ppt(d,p)	B
A(a)	B	Ata	D	Pac(a)	C	Ppt(p)	B
A(h)	B	Atac	D	Pag	D	Pt	B
Aa	D	Atc	C	Pag(a)	D	Pt(a)	B
Aa(h)	D	Atc(p)	C	Par	B	Ptc	C
Aa(h,i)	D	Atl	C	Par(a)	B	Ptc(d)	C
Aa(i)	D	Atl(a)	C	Par(a,p)	B	Pz	B
Aac	D	Bp	D	Par(p)	B	Pz(a)	B
Aac(a)	D	Bp(d)	D	Pat	B	Pz(h)	B
Aac(h)	D	Bva	D	Pat(a)	B	Pz(p)	B
Aac(i)	D	Ca	D	Pc	C	Rg	A
Aac(p)	D	Ca(a)	D	Pc'	D	Rgc	B
Ac	C	Ca(i)	D	Pc(a)	C	Sb	C
Ac(a)	C	Caa	D	Pc'(a)	D	Sb(a)	C
Ac(h)	C	Caa(a)	D	Pc(a,p)	C	Sb(a,h)	C
Ac(i)	C	Caa(i)	D	Pc(d)	C	Sb(h)	C
Al	B	Caac	D	Pc(d,p)	C	Sba	C
Al(i)	B	Caac(i)	D	Pc'(d,p)	D	Sba(a)	C
Alc	C	Cac	D	Pc(p)	C	Sba(h)	C
Alc(i)	C	Cac(i)	D	Pca	D	Sba(p)	C
Ap	A	Cal	D	Pca(a)	D	Sbac	C
Ap(a)	A	Cal(a)	D	Pcd	D	Sbac(a)	C
Apr	A	Cal(i)	D	Pcr(d,p)	D	Sbc	C
Apr(a)	A	Cb	D	Pcs	D	Sbc(a)	C
Apr(a,p)	A	Cb(a)	D	Pcs(a)	D	Sbc(a,p)	C
Apr(d,p)	A	Cb(a,p)	D	Pcs(a,p)	D	Sbc(p)	C
Apr(p)	A	Cb(ap)	D	Pcs(d)	D	Sbl	B
As	D	Cb(d)	D	Pcs(d,p)	D	Sbl(a)	B
As(i)	D	Cb(d,p)	D	Pcs(h)	D	Sbl(a,h)	B
Asa	D	Cb(dp)	D	Pcs(p)	D	Sbl(h)	B
Asa(h)	D	Cb(h)	D	Pct	D	Sblc	B
Asa(h,i)	D	Cb(p)	D	Pct(a)	D	Spb	D
Asa(i)	D	Cbc	D	Pct(d)	D	Spc'	D
Asac	D	Cbc(a)	D	Pct(p)	D	Spc'(a)	D
Asac(i)	D	Cbc(d)	D	Pcz	D	Spc'(a,p)	D
Asc	D	Cbc(p)	D	Pdc	D	Spc'(p)	D
Asc(i)	D	Cp	D	Pdc(a)	D	Srt	C
Aslc	D	Cpc	D	Pdg	D	Srt(a)	C
Assa	D	Cpv	D	Pdg(a)	D	Srt(a,d)	C
Assa(h,i)	D	Eb	D	Ppr	A	Srt(d)	C
Assa(i)	D	Ec	D	Ppr(a)	A	Srt(d)	C
Assac	D	Mnt	C	Ppr(a,p)	A	Srt(h)	C
Assac(i)	D	Pa	D	Ppr(p)	A	Srt(p)	C
At	D	Pa(a)	D	Ppt	B	Srth	D
At(a)	D	Pa(a,h)	D	Ppt(a)	B	Srth(a)	D

Svc'	D
Svc'(a)	D
Va	D
Va(a)	D
Vac	D
Vag(a)	D
Val	C
Val(a)	C
Vc'	D
Vc(a)	D
Vc(d)	D

Vc(d,p)	D
Vc'(d,p)	D
Vc(p)	D
Vcd	D
Vcd(a)	D
Vcd(a,p)	D
Vcd(d)	D
Vcd(d,p)	D
Vcd'(d,p)	D
Vcd(p)	D
Vcm	D

Vcm(a)	D
Vcm(d)	D
Vcm(p)	D
Vct	C
Vct(a)	C
Vct(d)	C
Vct(p)	C
Vdc	D
Vdg	D
Vdg(a)	D
VI	B

VI(a)	B
Vt	B
Vt(a)	B
Vt(a,p)	B
Vt(d)	B
Vt(d,p)	B
Vt(p)	B
Vtc	D
Vtc(a)	D
Vtc(a,h)	D
Vc	D

Tabela 2 – Atribuição do tipo hidrológico com recurso à nota explicativa, a Oliveira (2004) e às características gerais dos solos.

Tipo de Solo	Tipo Hidrológico	Nota Explicativa <sup>3</sup>	Descrição Morfológica	Descrição/Características	Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico
Act(a)	D	Não	-----	Aluviossolos modernos (Ac) / antigos (At) - Act sem descrição	Assume-se At (identificado por Oliveira) pela presença do mesmo no polígono no campo COD1 e pelos solos vizinhos
Apt	A	Não	-----	"t" identifica, nos diversos solos, a presença de arenitos - Sem descrição	Iguais aos Ap identificados por Oliveira
Arb	D	Sim	Não	Afloramentos rochosos	Afloramentos rochosos não são solos
Arc	D	Sim	Não		
Arct	D	Sim	Não		
Ard	D	Sim	Não		
Art	D	Sim	Não		
Artc	D	Não	-----		
ASoc	D	Não	-----	Áreas sociais, podendo também representar zonas permanentemente imersas/áreas de deposição	Têm sedimentos, não solos
Ba, Ba(a)	D	Sim	Sim	Textura muito argilosa	Composição argilosa (barros) e textura muito argilosa
Bac	D	Sim	Sim	Ba, com calcários, com textura muito argilosa	Barros, textura argilosa
Bac(a)	D	Sim	Sim		
Bc	D	Sim	Sim	Textura argilosa	Barros, textura argilosa
Bc(a), Bc(p)	D	Sim	Sim		
Bca	D	Sim	Não	Bc, pouco descarbonatado	Iguais aos Bc
Bca(a), Bca(p)	D	Sim	Não		
Bpa	D	Sim	Não	Bp, não calcários, argilosos	Iguais aos Bp identificados por Oliveira

<sup>3</sup> <https://www.dgadr.gov.pt/nota-explicativa>

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Bpac	D	Sim	Não	Bp, calcários, muito descarbonatados, argiloso	Iguais aos Bp identificados por Oliveira
Bvac	D	Sim	Não	Bva, calcários de margas ou rochas eruptivas básicas	Iguais aos Bva identificados por Oliveira
Cpvc	D	Sim	Sim	Cpv, não descarbonatados, com textura argilosa	Iguais aos Cpv identificados por Oliveira
Et	D	Sim	Sim	Eb ou Ec, de outros arenitos, com textura areno-franca	Iguais aos Eb e Ec identificados por Oliveira
Ka	C	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco a franco-argilosa, boa drenagem	Textura franco a franco-argilosa com boa drenagem
Ka(d)	D	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco a franco-argilosa, boa drenagem	Ka, fase delgada
Kab	C	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura argilosa a franco-argilosa	Igual ao Ka
Kac	C	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco-argilosa a argilosa, drenagem regular	Igual ao Ka com drenagem regular
Kb	D	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco a franco-humífera, boa drenagem	Parecido ao Ka (textura desconhecida) com boa drenagem
Kb(a), Kb(p)	D	Sim	Sim		
Kla	D	Sim	Não	Solos mólicos (Castanozemes) argilosos	Solo argiloso
Klb	D	Sim	Não	Solos mólicos (Castanozemes) de basalto (ou outras rochas eruptivas básicas)	Solo argiloso e de rochas eruptivas
Kr	D	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco-argilosa-limosa, boa drenagem	Textura franco-argilosa-limosa com boa drenagem
Kr(d,p), Kr(p)	D	Sim	Sim		
Krc	D	Sim	Não	Kr, calcárias	Igual ao Kr
Krc(p)	D	Sim	Não		
Ksb(p)	D	Sim	Não	Kr, calcárias	Igual ao Kr
Kvcd(d,p), Kvcd(p)	D	Sim	Sim	Solos mólicos (Castanozemes), de textura franco-argilo-limosa a argilo-limosa	Textura argilo-limosa

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Lb	D	Sim	Não	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de basalto (ou outras rochas eruptivas básicas)	Pouco insaturado
Lb(d), Lb(d,p), Lb(p)	D	Sim	Não		
Lpt	C	Sim	Sim	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de arenitos finos e grosseiros, de textura franco-arenosa e boa drenagem	Pouco insaturado, textura franco-arenosa e boa drenagem
Lpt(a), Lpt(h). Lpt(p)	C	Sim	Sim		
Lpt(d)	D	Sim	Sim	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de arenitos finos e grosseiros, de textura franco-arenosa e boa drenagem	Lpt, fase delgada
Lvt	C	Sim	Sim	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, vermelhos de arenitos finos e grosseiros, de textura franco-arenosa e boa drenagem	Pouco insaturado, textura franco-arenosa e boa drenagem
Lvt(a), Lvt(p)	C	Sim	Sim		
Lvt(d), Lvt(d,p)	D	Sim	Sim	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, vermelhos de arenitos finos e grosseiros, de textura franco-arenosa e boa drenagem	Lvt, fase delgada
Mnb	C	Sim	Não	Solos litólicos, húmicos, de basalto	Iguais aos Mnt identificados por Oliveira
Mnst	C	Sim	Sim	Solos litólicos, húmicos, material coluviado de solos derivados de arenitos, de textura franco-arenosa e boa drenagem	
Mnstb	C	Sim	Não	Mnst, material coluviado de solos derivados de arenitos e basaltos	Iguais aos Mnt identificados por Oliveira
Mnto	C	Sim	Sim	Mnt, de arenitos finos, de textura franco-arenosa a franco, boa drenagem	
Mnto(a)	C	Sim	Sim	Mnt, de arenitos finos, de textura franco-arenosa a franco, boa drenagem	

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Msta	C	Não	Não	Assume-se a descrição de Mstb, sem basaltos. "a" indica a presença de argilas (ou argilitos)	Solos da família Mst têm descrições relativamente idênticas aos da Mn. Baseado no tipo hidrológico atribuído por Oliveira aos solos dessa família e à presença de argilas ou argilitos
Mstb(d,p)	D	Sim	Não	Solos litólicos, húmicos, câmbicos, material coluviado de solos derivados de arenitos e basaltos	Msta, com basalto e fase delgada
Mstb(p)	C	Sim	Não	Solos litólicos, húmicos, câmbicos, material coluviado de solos derivados de arenitos e basaltos	Iguais ao Msta, com basalto
Mt	C	Sim	Não	Mistura de terras não calcárias	Não sendo calcária, assume-se uma permeabilidade média a elevada (nem muito baixo nem muito elevada).
Pab	D	Sim	Não	Pa, de basaltos ou de outras rochas afins	Iguais aos Pa identificados por Oliveira
Pab'	D	Não	Não	Pa, Para-Barros, de basaltos ou de outras rochas afins	Iguais aos Pa identificados por Oliveira
Pab(a), Pab(p)	D	Sim	Não	Pa, de basaltos ou de outras rochas afins	
Paco	C	Sim	Sim	Pac, de textura franco a franco-argilosa	Iguais aos Pac identificados por Oliveira
Paco(a), Paco (p)	C	Sim	Sim		
Pagc	D	Sim	Sim	Pag, e calcários, de textura argilosa a franco-argilosa	Iguais aos Pag identificados por Oliveira
Pagc(a)	D	Sim	Sim		
Pago	D	Sim	Sim	Pag, de textura franco a franco-argilosa	Iguais aos Pag identificados por Oliveira
Pago(a)	D	Sim	Sim		
Pao	D	Sim	Sim	Pa, Para-Barros, de textura argilosa a franco-argilosa, drenagem deficiente	Iguais aos Pa identificados por Oliveira
Pao(a)	D	Sim	Sim		

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Patc	B	Sim	Não	Pat, arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	Iguais aos Pat identificados por Oliveira
Patc(a), Patc(p)	B	Sim	Não		
Patc(d), Patc(d,p)	C	Sim	Não	Pat, arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	Patc, fase delgada
Pato	B	Sim	Sim	Pat, arenitos finos, argilas ou argilitos, de textura franco-argilosa, boa drenagem	Iguais aos Pat identificados por Oliveira
Pato(a), Pato(h), Pato(p)	B	Sim	Sim		
Pcdc	D	Sim	Sim	Pcd, de outros calcários compactos, de textura franco-limosa	Iguais aos Pcd identificados por Oliveira
Pcdc(a), Pcdc(a,p), Pcdc(d), Pcdc(d,p), Pcdc(p)	D	Sim	Sim	Pcd, de outros calcários compactos, de textura franco-limosa	Iguais aos Pcdc
Pcs'	D	Sim	Sim	Pcs, Para-Barros, de textura argilosa, drenagem regular	Iguais aos Pcs identificados por Oliveira
Pcs'(a), Pcs'(a,p), Pcs'(p)	D	Sim	Sim	Pcs, Para-Barros, de textura argilosa, drenagem regular	
Pcsd	D	Sim	Sim	Pcs, margas e calcários compactos, de textura franca, boa drenagem	Iguais aos Pcs identificados por Oliveira
Pcsd(a), Pcsd(a,p), Pcsd(d), Pcsd(d,p), Pcsd(p), Pcsd(h)	D	Sim	Sim	Pcs, margas e calcários compactos, de textura franca, boa drenagem	



<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Pcsd'	D	Sim	Sim	Pcs, Para-Barros, margas e calcários compactos, de textura argilosa, boa drenagem	Iguais aos Pcs identificados por Oliveira
Pcsd'(a), Pcsd'(a,p), Pcsd'(p)	D	Sim	Sim	Pcs, Para-Barros, margas e calcários compactos, de textura argilosa, boa drenagem	
Pcst	D	Sim	Sim	Pcs, margas e arenitos finos, de textura franca, boa drenagem	Iguais aos Pcs identificados por Oliveira
Pcst(a), Pcst(a,p), Pcst(d), Pcst(d,p), Pcst(p)	D	Sim	Sim	Pcs, margas e arenitos finos, de textura franca, boa drenagem	
Pcst'	D	Sim	Sim	Pcs, Para-Barros, margas e arenitos finos, de textura argilosa, drenagem regular	Iguais aos Pcs identificados por Oliveira
Pcst'(a), Pcst'(a,p), Pcst'(d,p), Pcst'(p)	D	Sim	Sim	Pcs, margas e arenitos finos, de textura franca, boa drenagem	
Pl	B	Sim	Sim	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de materiais arenosos pouco consolidados, de textura areno-franco-limosa a franco-arenosa-limosa, drenagem deficiente a regular	Pouco insaturado, textura franco-arenosa-limosa com drenagem insuficiente a regular
Pl(a)	B	Sim	Sim		
Pma	D	Não	-----	Solos argiluvitados pouco insaturados, Para-Barros, de diorite, quartzodioritos, rochas afins ou, a = argilas e argilitos	Pouco insaturados com argilas ou argilitos. Iguais ao Pmc identificado por Oliveira
Pmcd	C	Sim	Sim	Solos argiluvitados pouco insaturados, Para-Barros, de calcário duro, de textura argilosa, drenagem regular	Textura argilosa e drenagem regular

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Ptco	C	Sim	Não	Ptc, de textura franco-arenosa a franco	Iguais aos Ptc identificados por Oliveira
Ptco(a)	C	Sim	Não		
Pto	B	Sim	Sim	Pt, de textura franco-arenosa a franco	Iguais aos Pt identificados por Oliveira
Pto(a)	B	Sim	Sim		
Pto(d)	C	Sim	Sim	Pt, de textura franco-arenosa a franco	Pto, fase delgada
Ptr(a)	B	Sim	Não	Pt, de materiais arenosos finos não consolidados	Iguais aos Pt identificados por Oliveira
Pvd	D	Sim	Não	Solos argiluvitados pouco insaturados, vermelhos ou amarelos, cálcarios de material coluviado dos solos da família Vcd	Pouco insaturado, derivado do solo Vcd
Pvd(p)	D	Sim	Não		
Qd	D	Sim	Não	Solos litólicos, húmicos, Para-Litossolos ou Rankers, de dioritos	Segundo Jones et al. (2005) - página 31, pela presença de dioritos (rocha ácida), é considerado Rankers e são solos muito erodidos com a rocha mãe perto da superfície
Qta	D	Sim	Não	Solos itólicos, húmicos, Para-Litossolos ou Rankers, de arenitos argilosos	Iguais aos Qd, mas mais argilosos
Sbc'	D	Não	-----	Sbc, Para-Barros, de textura mais argilosa que Sbc	Iguais aos Sbc identificados por Oliveira mas mais argilosos
Sbu	C	Sim	Sim	Sb, húmicos	Iguais aos Sb identificados por Oliveira
Scb	C	Sim	Não	Barros castanho-avermelhados, não coluviados de basaltos ou rochas afins	Barros - solos argilosos
Skb	D	Sim	Não	Solos mólicos, não argiluvitados de basaltos (ou outras rochas eruptivas básicas)	Solos comuns às regiões mediterrânicas consolidados de basalto
Slb	D	Sim	Não	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de material coluviado de solos da família Lb	Pouco insaturado, derivado do solo Lb

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Slpt(p)	C	Sim	Não	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de material coluviado de solos da família Lpt	Pouco insaturado, derivado do solo Lpt
Slvt	C	Sim	Não	Solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, de material coluviado de solos da família Lvt	Pouco insaturado, derivado do solo Lvt
Spc	C	Não	-----	Spc', não Para-Barros e de textura franco a franco-arenosa	Iguais aos Spc' identificados por Oliveira, menos argilosos
Spcs'	D	Sim	Não	Spc', de materiais coluviais de margas	Iguais aos Spc' identificados por Oliveira
Spcs'(a), Spcs'(p)	D	Sim	Não		
Vac'	D	Sim	Não		
Vac'(a), Vac'(a,p), Vac'(p)	D	Sim	Não	Vac, Para-Barros	Iguais aos Vac identificados por Oliveira
Vaco	D	Sim	Sim	Solos argiluvitados pouco insaturados, de materiais calcários, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários, de textura argilosa, drenagem regular	Iguais aos Vac identificados por Oliveira
Vaco(a)	D	Sim	Sim		
Vagc	D	Sim	Não	Vag, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	Iguais aos Vag identificados por Oliveira
Vagc(a)	D	Sim	Não		
Vago	D	Sim	Sim	Vag, de arenitos finos, argilas ou argilitos, de textura franca a franco-argilosa	Iguais aos Vag identificados por Oliveira
Vago(a), Vago(a,p), Vago(d,p)	D	Sim	Sim		
Vao	D	Sim	Não	Va, Para-Barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos	Iguais aos Va identificados por Oliveira
Vao(a)	D	Sim	Não		
Vat	D	Sim	Não	Va, de arenitos arcóscicos argilosos	Iguais aos Va identificados por Oliveira

Tipo de Solo	Tipo Hidrológico	Nota Explicativa <sup>3</sup>	Descrição Morfológica	Descrição/Características	Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico
Vatc	D	Sim	Não	Va, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	Iguais aos Va identificados por Oliveira
Vatc(a), Vatc(a,p), Vatc(d), Vatc(d,p), Vatc(p)	D	Sim	Não		
Vato	D	Sim	Sim	Va, de arenitos finos, argilas ou argilitos, de textura franco-argilosa a argilosa	Iguais aos Va identificados por Oliveira
Vato(a), Vato(a,p), Vato(d), Vato(p)	D	Sim	Sim	Va, de arenitos finos, argilas ou argilitos, de textura franco-argilosa a argilosa	
Vcd'	D	Sim	Não	Vcd, Para-Barros	Iguais aos Vcd identificados por Oliveira
Vcd#	D	Sim	Não	Vcd, recarbonatados Vcd, recarbonatados	
Vcd#(a), Vcd#(a,p), Vcd#(d), Vcd#(d,p)	D	Sim	Não		
Vcdc	D	Sim	Não	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, Para-Litossolos, de calcários compactos associados a calcários brandos	Solos de calcários compactos
Vcdc(a), Vcdc(a,p), Vcdc(d), Vcdc(d,p), Vcdc(p)	D	Sim	Não		
Vcdt	D	Sim	Não	Vcd, de materiais não calcários, de calcários gresosos ou arenitos calcários	Iguais aos Vcd identificados por Oliveira

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Vcl(d,p)	D	Não	-----	Mesmo problema dos solos Act. Sem descrição. Ou é Vc ou é Vcdl	Solos dos polígonos vizinhos da família Vc são todos Vct. Assume-se como solo Vc - Identificado por Oliveira, está na nota explicativa e tem descrição morfológica. Fase delgada
Vcmo	D	Sim	Não	Vcm, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários	Iguais aos Vcm identificados por Oliveira
Vcmo(a), Vcmo(p)	D	Sim	Não		
Vcsd	C	Sim	Sim	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xéricos, de margas e calcários duros margosos, de textura argilosa, boa drenagem	Textura argilosa e boa drenagem
Vcsd(a), Vcsd(a,p), Vcsd(p)	C	Sim	Sim		
Vcsd(d), Vcsd(d,p)	D	Sim	Sim	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xéricos, de margas e calcários duros margosos, de textura argilosa, boa drenagem	Vcsd, fase delgada
Vcsd'	D	Sim	Sim	Vcsd, Para-Barros, de textura argilosa, boa drenagem	Textura argilosa e boa drenagem
Vcsd'(a), Vcsd'(a,p),	D	Sim	Sim		
Vcst	C	Sim	Sim	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xéricos, de margas e arenitos, de textura franco-argilosa-limosa, boa drenagem	Textura franco-argilosa-limosa e boa drenagem
Vcst(a), Vcst(a,p), Vcst(p)	C	Sim	Sim		
Vcst(d), Vcst(d,p)	D	Sim	Sim	Solos calcários, vermelhos dos climas de regime xéricos, de margas e arenitos, de textura franco-argilosa-limosa, boa drenagem	Vcst, fase delgada
Vcst'	C	Sim	Não	Vcst, Para-Barros, de textura mais argilosa do que Vcst	Textura mais argilosa do que Vcst (devido a ')
Vcst'(a)	C	Sim	Não		

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Nota Explicativa<sup>3</sup></b>	<b>Descrição Morfológica</b>	<b>Descrição/Características</b>	<b>Explicação/Razões para a atribuição do tipo hidrológico</b>
Vtco	C	Sim	Não	Solos calcários vermelhos dos climas do regime xérico, de arenitos finos associados a depósitos calcários	Solos calcários de arenitos finos
Vtdc	B	Sim	Não	Vt, Para-Solos calcários, de arenitos e calcários	Iguais aos Vt identificados por Oliveira
Vtdc(d), Vtdc(d,p)	C	Sim	Não	Vt, Para-Solos calcários, de arenitos e calcários	Fase delgada
Vto	B	Sim	Sim	Vt, avermelhados, de arenitos finos, de textura franco-arenosa a franca	Textura franco-arenosa a franca
Vto(a)	B	Sim	Sim		
Vtp	B	Não	-----	Mesmo problema dos solos Act e Vcl. Assume-se como solo Vt	Iguais aos Vt identificados por Oliveira
Vvac'	D	Não	-----	Não existe descrição nem sequer solos da família Vv. Assume-se um erro de inserção de texto e como solo Vac.	Solos vizinhos da família V são todos Vato ou Vac. O tipo hidrológico de Vac é identificado por Oliveira

Tabela 3 – Número de escoamento (AMC II) de acordo com o uso e ocupação do solo (COS 2015) e o tipo hidrológico do solo.

(Valores adaptados à COS 2015 a partir da COS 1990 – baseado na classificação de Oliveira (2004))

COS2015	Descrição das classes da COS 2015 (Nível 5)	Classes adaptadas da COS 1990	A	B	C	D
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	Tecido Urbano contínuo	98	98	98	98
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	Tecido Urbano descontínuo	60	74	83	87
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	Zonas Industriais e comerciais	85	90	93	94
1.2.2.00.0	Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	Vias de comunicação (rodoviárias e ferroviárias)	82	88	91	93
1.2.3.00.0	Áreas portuárias	Zonas Portuárias	81	88	91	93
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	Vias de comunicação (rodoviárias e ferroviárias)	82	88	91	93
1.3.1.00.0	Áreas de extração de inertes	Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto	81	88	91	93
1.3.2.00.0	Áreas de deposição de resíduos	Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto	81	88	91	93
1.3.3.00.0	Áreas em construção	Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto	81	88	91	93
1.4.1.00.0	Espaços verdes urbanos	Equipamentos para desporto e lazer	46	68	78	84
1.4.1.01.0	Campos de golfe	Equipamentos para desporto e lazer	46	68	78	84
1.4.2.02.0	Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	Equipamentos para desporto e lazer	46	68	78	84
1.4.2.03.0	Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	Equipamentos para desporto e lazer	46	68	78	84
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e regadio	Sequeiro e regadio	60	72	81	84
2.1.3.01.1	Arrozais	Arrozais	100	100	100	100
2.2.1.00.0	Vinhas	Vinhas	62	74	82	85
2.2.2.00.0	Pomares	Pomares	62	74	82	85
2.2.3.00.0	Olivais	Olivais	62	74	82	85
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	Pastagens naturais pobres	49	69	79	84
2.4.1.00.0	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	Vinhas, pomares e olivais	62	74	82	85
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	Sistemas culturais e parcelares complexos	61	73	82	85
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	Culturas anuais e espécie florestal	53	70	80	84
2.4.4.00.1	Sistemas agro-florestais de sobreiro	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84

2.4.4.00.3	Sistemas agro-florestais de outros carvalhos	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84
2.4.4.00.4	Sistemas agro-florestais de pinheiro manso	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84
2.4.4.00.5	Sistemas agro-florestais de outras espécies	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84
2.4.4.00.6	Sistemas agro-florestais de sobreiro com azinheira	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84
2.4.4.00.7	Sistemas agro-florestais de outras misturas	Espécies florestais e culturas anuais	53	70	80	84
3.1.1.00.1	Florestas de sobreiro	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.2	Florestas de azinheira	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.3	Florestas de outros carvalhos	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.4	Florestas de castanheiro	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.6	Florestas de espécies invasoras	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.1.2.00.3	Florestas de outras resinosas	Floresta - Grau de coberto > 50%	26	52	62	69
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	Pastagens naturais pobres	49	69	79	84
3.2.2.00.0	Matos	Vegetação arbustiva baixa - matos	30	58	71	78
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	Pastagens naturais pobres ou vegetação arbustiva alta	49	69	79	84
4.0.0.00.0	Zonas húmidas	Sapais	90	92	94	96
5.1.1.00.0	Cursos de Água	Cursos de água	100	100	100	100
5.1.2.00.0	Planos de Água	Cursos de água	100	100	100	100
5.2.1.01.1	Lagoas Costeiras	Cursos de água	100	100	100	100
5.2.2.01.1	Desembocaduras fluviais	Cursos de água	100	100	100	100
5.2.3.01.1	Oceano	Cursos de água	100	100	100	100



## Anexo II – *Script* (Anexo Digital)